Библиотека
ЭЛЕКТРОМОНТЕРА

Е. Л. МАРШАК

РЕМОНТ ОБМОТОК СТАТОРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

БИБЛИОТЕКА ЭЛЕКТРОМОНТЕРА

Выпуск 204

Е. Л. МАРШАК

РЕМОНТ ОБМОТОК СТАТОРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ПЕРЕМЕННОГО ТОКА





ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГИЯ»
МОСКВА 1966 ЛЕНИНГРАД

УДК 621.3.045.5.004.67(04)
М 25

В брошюре рассматриваются вопросы ремонта всыпных обмоток статоров электродвигателей общепромышленного назначения мощностью до 100 квт и напряжением до 500 в, а также обмоток с гильзовой (комбинированной) и непрерывной изоляцией крупных синхронных и асинхронных машин.

Приведено описание конструктивного исполнения обмоток, технологических процессов их изготовления на месте ремонта.

Брошюра предназначена для мастеров, бригадиров и рабочих, занятых ремонтом электрических машин.

Отзывы и пожелания по данной брошюре направляйте по адресу: Москва, Ж-114, Шлюзовая наб., 10, издательство «Энергия», Библиотека электромонтера.

Маршак Евсей Львович. **Ремонт обмоток статоров электрических машин переменного тока.** М.—Л., изд-во „Энергия“ 1966, 112 с. с черт. (Б-ка электромонтера. Вып. 204)

3-3-10
129-66

Редактор *Р. Б. Уманцев* Техн. редактор *Н. В. Сергеев*

Сдано в набор 22/IV 1966 г. Подписано к печати 16/VII 1966 г.
Т-11018 Бумага типографская мелованная 84×108 1/32. Печ. л. 5,88 Уч.-изд. л. 6,19
Тираж 25 000 экз. Цена 24 коп. Заказ 2384

Московская типография № 10 Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР.
Шлюзовая наб., 10.

1. РЕМОНТ ВСЫПНЫХ ОБМОТОК

До 1951 г. каждый из наших отечественных электромашиностроительных заводов разрабатывал и выпускал свою серию асинхронных двигателей.

Электродвигатели одной и той же мощности, напряжения и скорости вращения имели разную конструкцию, габариты и энергетические показатели.

Особенно многообразны были системы обмоток. Применялось много марок обмоточных проводов и очень большое количество их размеров.

Естественно, что все это затрудняло ремонт обмоток.

В 1951 г. наши заводы перешли на выпуск асинхронных двигателей единой серии, в которой применены более совершенные конструктивные решения, унифицированы многие узлы и детали, в первую очередь обмотки статоров.

Асинхронные электродвигатели единой серии мощностью до 100 *квт*, напряжением до 500 *в* и скоростью вращения до 750 *об/мин* общепромышленного назначения выпускаются в двух основных исполнениях: защищенном (тип А) и закрытом — обдуваемом (тип АО).

Мощности электродвигателей стандартизированы в соответствии с ГОСТ 4542-52.

Серия электродвигателей указанных параметров компануется из 7 внешних диаметров статора (габаритов) и 19 длин активной стали.

Обозначение типов электродвигателей основного исполнения расшифровывается следующим образом: например для электродвигателя АО-52/4:

А — асинхронный, О — обдуваемый, первая цифра — номер габарита, вторая цифра — номер длины активной

стали статора; третья цифра — число полюсов электродвигателя.

В электродвигателях 3, 4 и 5-го габаритов применена однослойная концентрическая, а в электродвигателях 6, 7, 8 и 9-го габаритов — двухслойная обмотка статора.

Вся серия имеет полузакрытые пазы и всыпные обмотки из круглого провода.

В электродвигателях же старых выпусков, при мощности превышающей 20 *квт*, пазы статора, как правило, полуоткрытые, обмотки выполнены жесткими катушками — проводом прямоугольного сечения. Естественно, что ремонт таких обмоток был очень трудоемок и сложен, требовал большого числа ремонтных приспособлений.

Однако электродвигатели единой серии А и АО, будучи по своим эксплуатационным параметрам несравненно более совершенными, чем электродвигатели старых выпусков, уже не удовлетворяют потребности сегодняшнего дня.

Достижения в области производства изоляционных, главным образом синтетических материалов, обусловили возможность разработки новой, более совершенной серии электродвигателей общепромышленного назначения.

В соответствии с этим разработанные Всесоюзным научно-исследовательским институтом электромеханики (ВНИИЭМ) электродвигатели серий А2 и АО2 имеют повышенные электрические показатели при более низких удельных расходах активных и конструктивных материалов. Электродвигатели этой серии уже выпускаются нашими заводами и должны заменить электродвигатели серий А и АО.

В настоящее время большинство электродвигателей, поступающих в ремонт, относится к серии А и АО. Поэтому применительно к этим электродвигателям, описывается технология ремонта асинхронных электродвигателей общепромышленного назначения со всыпными обмотками.

Изоляция обмоток двигателей выполняется из материалов различной нагревостойкости, что естественно и определяет допустимую температуру нагрева самого электродвигателя.

Таблица 1

Класс нагревостойкости	Температура, характеризующая нагревостойкость материалов данного класса, °C	Характеристика основных групп электроизоляционных материалов, соответствующих данному классу нагревостойкости
Y	90	Не пропитанные и не погруженные в жидкий электроизоляционный материал волокнистые материалы из целлюлозы и шелка, а также соответствующие данному классу другие материалы и другие сочетания материалов
A	105	Пропитанные или погруженные в жидкий электроизоляционный материал волокнистые материалы из целлюлозы или шелка, а также соответствующие данному классу другие материалы и другие сочетания материалов
E	120	Некоторые синтетические органические пленки, а также соответствующие данному классу материалы и другие сочетания материалов (лавсан, винифлекс и др.)
B	130	Материалы на основе слюды (в том числе на органических подложках), асбеста и стекловолокна, применяемые с органическими связующими и пропитывающими составами, а также соответствующие данному классу другие материалы и другие сочетания материалов
F	155	Материалы на основе слюды, асбеста и стекловолокна, применяемые в сочетании с синтетическими связующими и пропитывающими составами, а также соответствующие данному классу другие материалы и другие сочетания материалов
H	180	Материалы на основе слюды, асбеста и стекловолокна, применяемые в сочетании с кремнийорганическими связующими и пропитывающими составами, кремнийорганические эластомеры, а также соответствующие данному классу другие материалы и другие сочетания материалов

Класс нагрево-стой-кости	Температура, характеризующая нагревостойкость материалов данного класса, °C	Характеристика основных групп электроизоляционных материалов, соответствующих данному классу нагревостойкости
C	более 180	Слюда, керамические материалы, стекло, кварц, применяемые без связующих составов или с неорганическими или элементоорганическими связующими составами, а также соответствующие данному классу другие материалы и другие сочетания материалов

Примечания: 1. Указанные температуры являются предельно допустимыми для электроизоляционных материалов при их длительном использовании в электрических машинах и аппаратах, работающих в нормальных эксплуатационных условиях.

2. Температура в наиболее нагретом месте изоляции не должна превышать указанных предельно допустимых величин при работе электрооборудования в нормальном режиме.

3. С электроизоляционными материалами данного класса допускается совместное применение материалов предшествующих классов при условии, что под действием температуры, допускаемой для материалов более высокого класса, электрические и механические свойства комплексной изоляции не должны претерпевать изменений, могущих вызвать непригодность изоляции для длительной работы.

В соответствии с ГОСТ 8865-58 применяемые в электротехнике изоляционные материалы по их нагревостойкости делятся на семь классов перечисленных в табл. 1.

Исполнение изоляции обмоток статора электродвигателей единой серии приведено в табл. 2, 3 и 4.

Ремонт всыпных обмоток, т. е. обмоток, состоящих из мягких катушек, намотанных круглым проводом, разбиваются на следующие основные операции: заготовка изоляционных деталей, намотка катушек, укладка обмоток, пропитка обмоток.

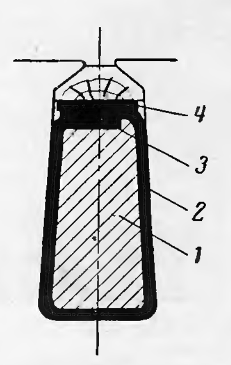
Ниже приводятся описания каждой из этих операций.

Операции, относящиеся к ремонту электродвигателей в целом (разборка и сборка, соединение схем, опробование и испытание электродвигателей и др.), в настоящей брошюре не рассматриваются.

Заготовка изоляционных деталей. Все изоляционные детали должны быть в полном комплекте заготовлены к началу ремонта электродвигателя.

Таблица 2

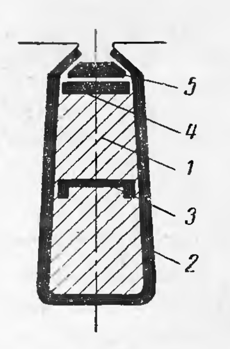
Изоляция обмоток статора асинхронного двигателя серии А 3—5-го габаритов с однослойной обмоткой



Наименование деталей	№ позиций	Материал	Толщина, *мм*	Число слоев	Допускаемая замена
Обмоточный провод	*1*	ПЭЛБО	—	—	—
Коробка пазовая	*2*	Электрокартои Лакоткань Электрокартон	0,2 0,2 0,2	1 1 1	Пленкокартон толщииою 0,3 *мм* —два слоя (пленкой внутрь)
Прокладка под клин	*3*	Электрокартон	0,5	1	—
Клин пазовый	*4*	Дерево твердых пород (дуб, береза)	По месту	1	Текстолит
Междуфазная прокладка в лобовой части	—	Электрокартон Лакоткань (склеенные между собой нитроглифталевым лаком)	0,3 0,2	1 1	Пленкокартон толщиною 0,3 *мм* — два слоя

Таблица 3

Изоляция обмотки статора асинхронного двигателя серии А 6—9-го габаритов с двухслойной обмоткой



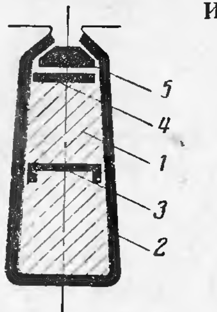
Наименование деталей	№ позиций	Материал	Толщина, *мм*	Число слоев	Допускаемая замена
Обмоточный провод	*1*	ПЭЛБО	—	—	—
Коробка пазовая	*2*	Электрокартон	0,2	1	Пленкокартон толщиною 0,3 *мм* — два слоя (пленкой внутрь)
		Лакоткань	0,2	1	
		Электрокартон	0,2	1	
Прокладка междуслойная в пазовой части	*3*	Электрокартон	0,3	1	Пленкокартон толщиною 0,3 *мм* — два слоя
		Лакоткань (склеенные между собой нитроглифталевым лаком)	0,2	1	
Прокладка под клин	*4*	Электрокартон	0,5	1	—
Клин пазовый	*5*	Дерево твердых пород (бук, береза)	По месту	1	Текстолит

Продолжение табл. 3

Наименование деталей	№ позиций	Материал	Толщина, *мм*	Число слоев	Допускаемая замена
Междуфазная прокладка в лобовой части	—	Электрокартон Лакоткань (склеенные между собой нитроглифталевым лаком)	0,3 0,2	1 1	Пленкокартон толщиною 0,3 *мм*—два слоя
Прокладка между головками катушек	—	Лакоткань	0,2	1	—

Таблица 4

Изоляция обмотки статора асинхронного двигателя серии АО 6—9-го габаритов с двухслойной обмоткой



Наименование деталей	№ позиций	Материал	Толщина, *мм*	Число слоев	Допускаемая замена
Обмоточный провод	*1*	ПСД	—	—	—

Продолжение табл. 4

Наименование деталей	№ позиций	Материал	Толщина, *мм*	Число слоев	Допускаемая замена
Коробка пазовая	2	Электрокартон	0,3	1	Электрокартон толщиною 0,2 *мм* — один слой
		Гибкий миканит	0,2	1	Гибкий слюдинит 0,2 *мм* — один слой
		Электрокартон	0,2	1	Стеклолакоткань ЛСТЧ толщиною 0,2 *мм* — один слой
Прокладка межслойная в пазовой части	3	Электрокартои	0,3	1	Электрокартон толщиною 0,3 *мм* — один слой
		Гибкий миканит	0,15	1	Гибкий слюдинит толщиною 0,2 *мм* — один слой (склеенные между собой нитроглифталевым лаком)
		Бумага телефонная (склеенные между собой масляноглифталевым лаком)	0,05	1	
Прокладка под клин	4	Электрокартон	0,5	1	—
Клин пазовый	5	Текстолит	По месту	—	—
Междуфазная прокладка в лобовой части		Электрокартон	0,3	1	Электрокартон толщиною 0,3 *мм* — один слой
		Гибкий миканит	0,15	1	Гибкий слюдинит толщиною 0,2 *мм* — один слой
		Телефонная бумага (склеенные между собой масляноглифталевым лаком)	0,05	1	Стеклоткань толщиною 0,1 *мм* — один слой (склеенные между собой нитроглифталевым лаком)
Прокладка между головками катушек	—	Стеклолакоткань	0,2	1	—

Материалы, из которых изготовляются изоляционные детали, должны быть соответствующим образом подготовлены.

Электрокартон, поступающий обычно в больших тяжеловесных рулонах, перематывается в рулоны меньших размеров весом до 10—15 *кг* и просушивается в вертикальном положении в сушильной печи при температуре 90—95° в течение 1—2 *ч*. В горячем виде электрокартон пропитывается в льняном масле или натуральной олифе и вновь сушится в печи при указанной температуре в течение 3—4 *ч*.

Допускается сушка пропитанного электрокартона также и на воздухе. В этом случае время сушки в зависимости от окружающей температуры удлиняется до 24—36 *ч*. При сушке как в печи, так и на воздухе рулон электрокартона должен быть распущен, чтобы между отдельными слоями был бы зазор.

Следует также определить раскрой материала, обеспечивающий его минимальные отходы.

Резка заготовок для пазовых коробок и других деталей производится на рычажных ножницах, имеющих ограничительные и прижимные планки.

Резка электрокартона производится таким образом, чтобы направление волокон уложенной в паз коробки совпадало бы с продольной осью электродвигателя.

Лакоткань разрезается под углом 45°, а стеклоткань — под углом 15° к оси полотна.

Пазовые коробки, как это видно из рисунков, приведенных в табл. 2, 3 и 4, могут быть закрытыми (табл. 2) либо открытыми (табл. 3 и 4).

При открытом исполнении, где пазовая коробка не перекрывает катушку под пазовым клином, ширина заготовки одинакова для всех слоев изоляции и определяется периметром паза.

При закрытом исполнении, когда коробка перекрывает катушку под пазовым клином, ширина внутреннего слоя выполняется на 20—30 *мм* больше других слоев. В процессе укладки обмотки края этих коробок выступают из пазов и предохраняют изоляцию проводов от повреждения.

Это особо важно при применении проводов марок ПЭЛБО, ПЭЛШО и др. со сравнительно хрупкой эмалевой изоляцией.

Для предохранения пазовых коробок, выступающих по торцам стали, от разрыва при укладке обмотки, концы коробок усиливаются манжетами, исполненными по одному из вариантов, указанных на рис. 1.

Трехслойная манжета является более надежной, применение ее особо желательно в тех статорах, где нет

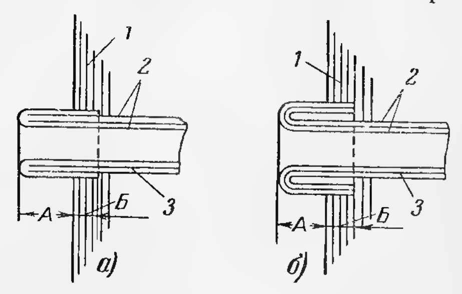


Рис. 1. Манжеты пазовых коробок.

а — манжета, образованная внутренним слоем пазовой коробки; *б* — манжета, образованная тремя слоями пазовой коробки; *1* — активная сталь; *2* — электрокартон; *3* — лакоткань.

опорных изоляционных колец на торцах активной стали, или где нельзя изолировать нажимные шайбы статора таким образом, чтобы их изоляция являлась опорой для концов пазовых коробок.

Однако следует считаться с тем, что трехслойная манжета снижает коэффициент заполнения паза.

При определении длины заготовок для коробок следует учитывать, что коробка должна выступать из пазов, а манжета — заходить в паз на длину, указанную в табл. 5.

Таблица 5

Габарит двигателя	Размеры, *мм* (рис. 1)	
	А	*Б*
3 и 4	8	5
5, 6 и 7	12	8
8 и 9	15	10

При изготовлении пазовых коробок сложенные слои заготовок обжимают в опрессовочном приспособлении, чтобы придать им нужную форму. При необходимости отдельные слои заготовок склеивают между собой, как это указано в табл. 2, 3 и 4.

Кроме пазовых коробок, к началу ремонта должны быть подготовлены прокладки под клин, прокладки для укладки в середине паза между сторонами катушек,

междуфазные прокладки, линоксинновые трубки для изолировки мест соединения провода, изолировки внутримашинных соединений и выводных концов, а также пазовые клинья.

Прокладки, укладываемые в паз, должны быть шире паза, чтобы можно было выполнить их со скосами по краям, как это указано на рисунках табл. 3 и 4.

Размер междуфазных прокладок по длине определяется вылетом лобовых частей, а по ширине шагом обмотки.

Пазовые клинья изготовляются из пропитанной и просушенной древесины твердых пород — бука, березы или из текстолита. При небольшой толщине, текстолитовые клинья более желательны, чем деревянные.

Намотка катушек. Как указывалось, всыпные обмотки изготовляются из проводов круглого сечения.

Сортамент медной проволоки, идущий для изготовления обмоточных проводов, весьма велик; достигает 80 размеров (табл. 6.).

В настоящее время изготовляются провода с волокнистой, эмалевой и комбинированной эмалево-волокнистой изоляцией.

Различные виды, или так называемые марки, обмоточных проводов имеют условные буквенные обозначения. Некоторые марки проводов после буквенного обозначения имеют также цифровое обозначение — 1 или 2. Цифра 1 указывает на нормальную толщину изоляции, а цифра 2 — на усиленную, более толстую изоляцию.

Обозначение марок всех обмоточных медных проводов начинается с буквы П (провод). Волокнистая изоляция имеет обозначения: Б — хлопчато-бумажная пряжа, Ш — натуральный шелк, ШК или К — искусственный шелк — капрон; С — стекловолокно, А — асбестовое волокно, О или Д — соответственно указывают на один или два слоя изоляции. Например, провод марки ПБД обозначает: провод обмоточный медный, имеющий изоляцию из двух слоев хлопчато-бумажной пряжи.

Эмалевая изоляция обмоточных проводов имеет обозначения:

ЭЛ — эмаль лакостойкая, ЭВ — эмаль высокопрочная (винифлекс), ЭТ — эмаль теплостойкая, полиэфирная, ЭВТЛ — эмаль полиуретановая, ЭЛР — эмаль полиамидно-резольная.

Таблица 6

Диаметр провода, *мм*	Сечение провода, *мм*²	Вес 1 *км* провода, *кг*	Сопротивление 1 *км* провода при 20° С, *ом*	Диаметр провода, *мм*	Сечение провода, *мм*²	Вес 1 *км* провода, *кг*	Сопротивление 1 *км* провода при 20° С, *ом*
0,11	0,00950	0,0845	1 849	0,83	0,541	4,81	32,4
0,12	0,01131	0,1005	1 552	0,86	0,581	5,16	30,2
0,13	0,01327	0,1180	1 322	0,90	0,636	5,66	27,6
0,14	0,01539	0,1368	1 140	0,93	0,679	6,04	25,9
0,15	0,01767	0,1571	993	0,96	0,724	6,43	24,3
0,16	0,0201	0,1788	873	1,00	0,785	6,98	22,4
0,17	0,0227	0,202	773	1,04	0,849	7,55	20,7
0,18	0,0255	0,226	688	1,08	0,916	8,14	19,2
0,19	0,0284	0,252	618	1,12	0,985	8,75	17,82
0,20	0,0314	0,279	559	1,16	1,057	9,40	16,61
0,21	0,0346	0,308	507	1,20	1,131	10,05	15,52
0,23	0,0415	0,369	423	1,25	1,227	10,91	14,33
0,25	0,0491	0,436	358	1,30	1,327	11,80	13,22
0,27	0,0573	0,509	306	1,35	1,431	12,73	12,28
0,29	0,0661	0,587	265	1,40	1,539	13,68	11,40
0,31	0,0755	0,671	233	1,45	1,651	14,68	10,62
0,33	0,0855	0,760	205	1,50	1,767	15,71	9,93
0,35	0,0962	0,855	182,4	1,56	1,911	16,99	9,18
0,38	0,1134	1,008	154,8	1,62	2,06	18,32	8,52
0,41	0,1320	1,173	132,9	1,68	2,22	19,71	7,90
0,44	0,1521	1,352	115,4	1,74	2,38	21,1	7,37
0,47	0,1735	1,542	101,2	1,81	2,57	22,9	6,83
0,49	0,1886	1,676	93,1	1,88	2,78	24,7	6,31
0,51	0,204	1,816	86,0	1,95	2,99	26,5	5,88
0,53	0,221	1,961	79,4	2,02	3,20	28,5	5,49
0,55	0,238	2,11	73,7	2,10	3,46	30,8	5,07
0,57	0,255	2,27	68,8	2,26	4,01	35,7	4,88
0,59	0,273	2,43	64,3	2,44	4,68	41,6	3,75
0,62	0,302	2,68	58,1	2,63	5,43	48,3	3,23
0,64	0,322	2,86	54,5	2,83	6,29	55,9	2,79
0,67	0,353	3,13	49,7	3,05	7,31	65,0	2,40
0,69	0,374	3,32	46,9	3,28	8,45	75,1	2,08
0,72	0,407	3,62	43,1	3,53	9,79	87,0	1,793
0,74	0,430	3,82	40,8	3,80	11,34	100,8	1,548
0,77	0,466	4,14	37,7	4,10	13,20	117,4	1,309
0,80	0,503	4,47	34,9	4,50	15,90	141,4	1,104

Например, провод марки ПЭЛ обозначает: провод медный, покрытый лакостойкой эмалью.

Комбинированная изоляция состоит из эмалевой изоляции, поверх которой нанесена изоляция из волокнистых материалов.

Например, провод марки ПЭЛБО обозначает: провод медный, покрытый лакостойкой эмалью, а затем хлопчато-бумажной пряжей в один слой.

Марки обмоточных проводов, изолированных стекловолокном и пропитанных в теплостойком кремнийорганическом лаке, имеют в своем обозначении букву К. Например, провод марки ПСДК.

Сортамент изготовляемых обмоточных проводов приведен в табл. 7 и 8.

Для обмоток электродвигателей единой серии А и АО количество проводов ограничено 34 размерами, а количество марок — двумя.

Большинство обмоток выполнено проводом диаметром от 1,25 до 1,62 *мм.*

Во многих случаях провод одного и того же размера применяется для обмоток различных электродвигателей путем изменения числа параллельных проводов в эффективном проводе и числа параллельных ветвей в фазе.

В табл. 9 указаны размеры провода для обмоток каждого из электродвигателей от 3-го до 9-го габаритов включительно (кроме многоскоростных) с указанием веса обмотки.

Для электродвигателей 3, 4 и 5-го габаритов всех типов и электродвигателей 6, 7, 8 и 9-го габаритов типов А, АО, АП, АОТ и АК применяется провод марки ПЭЛБО. Для электродвигателей 6, 7, 8 и 9-го габаритов типов АО, АОС, АОП — провод марки ПСД.

Катушки всыпной обмотки желательно мотать из одного провода. Это обеспечивает компактность и правильную форму катушки.

Катушки, намотанные из двух и более параллельных проводов, сложней укладывать в паз. У таких катушек повышается вероятность перекрещиваний проводов в пазу («крестов»), являющихся одной из причин обмоточного брака, из-за повреждения изоляции проводов при уплотнении катушки в пазу.

Таблица 7

Марка провода	Максимальная двусторонняя толщина изоляции при диаметре провода (по меди), *мм*									
	0,11—0,19	0,20—0,25	0,27—0,29	0,31—0,35	0,38—0,49	0,51—0,69	0,72—0,96	1,00—1,45	1,50—2,10	2,26—5,20
ПЭЛШО, ПЭЛШКО	0,075	0,09	0,10	0,105	0,11	0,115	0,125	0,135	0,155	—
ПЭЛБО, ПЭЛКО . .	—	0,125	0,155	0,16	0,165	0,17	0,18	0,21	0,25	—
ПБД	—	0,19	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,27	0,27	0.33
ПЭТСО	—	—	—	0,20	0,20	0,20	0,22	0,22	0,24	—
ПЭТКСО	—	—	—	—	0,16	0,16	0,18	0,20	—	—
ПСД, ПСДК	—	—	—	0,23	0,23	0,25	0,25	0,27	0,27	0,33
ПЭТСО-Т, ПСД-Т . .	—	—	—	0,16	0,165	0,17	0,18	0,21	0,21	—

Максимальное количество параллельных проводов в катушке три. Катушки, состоящие из четырех параллельных проводов, встречаются как исключение.

Вместе с тем укладка в пазы провода диаметром 2,5 *мм* и выше также затруднена из-за его жесткости, часто влечет за собой повреждение изоляции провода и разрыв вылетов пазовых коробов.

Поэтому проводники катушек, диаметр которых превышает 2,5 *мм*, разбивают на два параллельных провода.

При отсутствии требуемого провода катушку мотают проводом, отличающимся от него как размером, так и маркой изоляции. По той же причине разбивают провод на два параллельных проводника, эквивалентных требуемому по своему суммарному сечению.

Во всех случаях замены проводов требуется проверить коэффициент заполнения паза

$$k_з = \frac{nd^2}{S_п},$$

где n — общее число проводов в пазу;
d — диаметр изолированного провода, *мм*;
$S_п$ — площадь сечения паза за вычетом сечений пазовой коробки, прокладок и клина, *мм*^{2}.

Коэффициент заполнения паза не должен превышать 0,7—0,75.

При высоком коэффициенте заполнения имеются затруднения при укладке катушек, и для того чтобы заложить все провода катушки, требуется прикладывать значительные усилия для уплотнения проводов, что может привести к повреждению изоляции.

Малый коэффициент заполнения свидетельствует, что электродвигатель неполностью использован, провода катушки недостаточно плотно размещены в пазах, что также может вызвать повреждение изоляции проводников.

В некоторых случаях применение провода с более тонкой изоляцией по отношению к заводскому исполнению дает возможность за счет изоляции увеличить сечение провода по меди и тем самым уменьшить нагрев обмотки статора. Это в свою очередь позволит дополнительно нагрузить электродвигатель, а если это невозможно из-за перегрева ротора электродвигателя, то увеличить срок службы обмотки статора.

Диаметр провода по меди, *мм*	Максимальный диаметр изолированного провода *мм*, марок					
	ПЭЛ	ПЭЛУ	ПЭВ-1	ПЭВ-2 и ПЭТВ	ПЭЛР-1	ПЭЛР-2
0,11	0,13	0,145	0,135	0,14	0,13	0,14
0,12	0,14	0,155	0,145	0,15	0,14	0,15
0,13	0,15	0,165	0,155	0,16	0,15	0,16
0,14	0,16	0,175	0,165	0,17	0,16	0,17
0,15	0,17	0,185	0,18	0,19	0,18	0,19
0,16	0,18	0,195	0,19	0,20	0,19	0,20
0,17	0,19	0,205	0,20	0,21	0,20	0,21
0,18	0,20	0,215	0,21	0,22	0,21	0,22
0,19	0,21	0,225	0,22	0,23	0,22	0,23
0,20	0,225	0,24	0,23	0,24	0,23	0,24
0,21	0,235	0,24	0,24	0,25	0,24	0,25
0,23	0,255	0,27	0,27	0,28	0,26	0,28
0,25	0,275	0,29	0,29	0,30	0,28	0,30
0,27	0,31	0,33	0,31	0,32	0,31	0,32
0,29	0,33	0,35	0,33	0,34	0,33	0,34
0,31	0,35	0,37	0,35	0,36	0,35	0,36
0,33	0,37	0,39	0,37	0,38	0,37	0,38
0,35	0,39	0,41	0,39	0,41	0,39	0,41
0,38	0,42	0,44	0,42	0,44	0,42	0,44
0,41	0,45	0,47	0,45	0,47	0,45	0,47
0,44	0,49	0,51	0,48	0,50	0,48	0,50
0,47	0,52	0,54	0,51	0,53	0,51	0,53
0,49	0,54	0,56	0,53	0,55	0,53	0,55
0,51	0,56	0,58	0,56	0,58	0,56	0,58
0,53	0,58	0,60	0,58	0,60	0,58	0,60
0,55	0,60	0,62	0,60	0,62	0,60	0,62
0,57	0,62	0,64	0,62	0,64	0,62	0,64
0,59	0,64	0,66	0,64	0,66	0,64	0,66
0,62	0,67	0,69	0,67	0,69	0,67	0,69
0,64	0,69	0,71	0,69	0,72	0,69	0,72
0,67	0,72	0,74	0,72	0,75	0,72	0,75
0,69	0,74	0,76	0,74	0,77	0,74	0,77
0,72	0,78	0,80	0,77	0,80	0,78	0,81

Таблица 8

Диаметр провода по меди, *мм*	Максимальный диаметр изолированного провода *мм*, марок					
	ПЭЛ	ПЭЛУ	ПЭВ-1	ПЭВ-2 и ПЭТВ	ПЭЛР-1	ПЭЛР-2
0,74	0,80	0,83	0,80	0,83	0,80	0,83
0,77	0,83	0,86	0,83	0,86	0,83	0,86
0,80	0,86	0,89	0,86	0,89	0,86	0,89
0,83	0,89	0,92	0,89	0,92	0,89	0,92
0,86	0,92	0,95	0,92	0,95	0,92	0,95
0,90	0,96	0,99	0,96	0,99	0,96	0,99
0,93	0,99	1,02	0,99	1,02	0,99	1,02
0,96	1,02	1,02	1,02	1,05	1,02	1,05
1,00	1,07	1,10	1,08	1,11	1,08	1,11
1,04	1,12	1,15	1,12	1,15	1,12	1,15
1,08	1,16	1,19	1,16	1,19	1,16	1,19
1,12	1,20	1,23	1,20	1,23	1,20	1,23
1,16	1,24	1,27	1,24	1,27	1,24	1,27
1,20	1,28	1,31	1,28	1,31	1,28	1,31
1,25	1,33	1,36	1,33	1,36	1,33	1,36
1,30	1,38	1,41	0,38	1,41	1,38	1,41
1,35	1,43	1,46	1,43	1,46	1,43	1,46
1,40	1,48	1,51	1,48	1,51	1,48	1,51
1,45	1,53	1,56	1,53	1,56	1,53	1,56
1,50	1,58	1,61	1,58	1,61	1,58	1,61
1,56	1,64	1,67	1,64	1,67	1,64	1,67
1,62	1,71	1,74	1,70	1,73	1,70	1,73
1,68	1,77	1,80	1,76	1,79	1,76	1,79
1,74	1,83	1,86	1,82	1,85	1,82	1,85
1,81	1,90	1,93	1,90	1,93	1,90	1,93
1,88	1,97	2,00	1,97	2,00	1,97	2,00
1,95	2,04	2,07	2,04	2,07	2,04	2,07
2,02	2,12	2,15	2,11	2,14	2,12	2,15
2,10	2,20	2,23	2,20	2,23	2,20	2,23
2,26	2,36	2,39	2,36	2,39	2,36	2,39
2,44	2,54	2,57	2,54	2,57	2,54	2,57

Таблица 9

Тип электродвигателя	Напряжение, *в*	Диаметр провода, *мм*	Вес меди, *кг*
3-й габарит			
А-31/2, АО-31/2, АОС-31/2	127/220	0,93	1,57
	220/380	0,67	1,43
	500	0,57	1,37
А-32/2, АО-32/2, АОС-32/2	127/220	1,12	1,77
	220/380	0,83	1,66
	500	0,72	1,66
А-31/4, АО-31/4, АОС-31/4	127/220	0,77	1,3
	220/380	0,57	1,25
	500	0,47	1,13
А-32/4, АО-32/4, АОС-32/4	127/220	0,96	1,62
	220/380	0,72	1,60
	500	0,59	1,43
А-31/6, АО-31/6	127/220	0,72	1,64
	220/380	0,53	1,56
	500	0,44	1,44
А-32/6, АО-32/6	127/220	0,93	2,15
	220/380	0,69	2,06
	500	0,57	1,88
4-й габарит			
А-41/2, АЛ-41/2	127/220	1,4	2,7
	220/380	1,12	3,02
	500	0,96	2,93
АО-41/2, АОС-41/2	127/220	1,35	2,88
	220/380	1,04	2,95
	500	0,9	2,92
А-42/2, АЛ-42/2	127/220	1,0	3,17
	220/380	1,35	3,27
	500	1,2	3,42
АО-42/2, АОЛ-42/2, АОС-42/2	127/220	0,9	3,27
	220/380	1,16	3,05
	500	1,04	3,22
А-41/4, АЛ-41/4; АО-41/4, АОЛ-41/4, АОС-41/4, АОП-41/4	127/220	1,3	3,18
	220/380	0,96	2,98
	500	0,83	2,96
А-42/4, АЛ-42/4, АО-42/4, АОЛ-42/4, АОС-42/4, АОП-42/4	127/220	1,12	3,59
	220/380	1,2	3,70
	500	1,0	3,31
А-41/6, АЛ-41/6, АО-41/6, АОЛ-41/6, АОС-41/6	127/220	1,04	2,47
	220/380	0,77	2,36
	500	0,67	2,35

Тип электродвигателя	Напряжение, *в*	Диаметр провода, *мм*	Вес меди, *кг*
А-42/6, АЛ-42/6, АО-42/6, АОЛ-42/6, АОС-42/6	127/220	1,35	3,02
	220/380	1,0	2,86
	500	0,86	2,85
АОП-41/6	127/220	1,08	2,47
	220/380	0,83	2,54
	500	0,69	2,31
АОП-42/6	127/220	0,93	3,02
	220/380	1,0	3,06
	500	0,86	2,96
АОТ-41/4	127/220	1,2	3,06
	220/380	0,9	3,03
	500	0,77	2,93
АОТ-42/4	127/220	1,0	3,45
	220/380	1,12	3,68
	500	0,96	3,56
АОТ-41/6	127/220	0,96	2,47
	220/380	0,72	2,42
	500	0,62	2,36
АОТ-42/6	127/220	0,83	3,02
	220/380	0,9	3,09
	500	0,77	2,09
5-й габарит			
А-51/2	127/220	1,2	6,22
	220/380	1,3	6,5
	500	1,12	6,34
АО-51/2, АОС-51/2	127/220	1,08	6,2
	220/380	1,16	6,15
	500	1,0	6,05
А-52/2	127/220	1,5	7,4
	220/380	1,25	7,1
	500	1,4	7,54
АО-52/2, АОС-52/2	127/220	1,3	7,44
	220/380	1,16	7,22
	500	1,25	7,3
А-51/4, АО-51/4, АОС-51/4	127/220	1,25	6,58
	220/380	1,12	6,26
	500	1,4	6,4
А-52/4, АО-52/4, АОС-52/4	127/220	1,3	7,66
	220/380	1,4	7,82
	500	1,2	7,6

Тип электродвигателя	Напряжение, *в*	Диаметр провода, *мм*	Вес меди, *кг*
А-51/6, АО-51/6, АОС-51/6	127/220 220/380 500	1,25 1,35 1,16	5,34 5,42 5,28
А-52/6, АО-52/6, АОС-52/6	127/220 220/380 500	1,25 1,16 1,4	6,45 6,4 6,14
АОП-51/4	127/220 220/380 500	1,25 1,16 1,0	6,56 6,5 6,45
АОП-52/4	127/220 220/380 500	1,35 1,16 1,2	7,6 7,72 7,35
АОП-51/6	127/220 220/380 500	1,3 1,4 1,2	5,56 5,57 5,38
АОП-52/6	127/220 220/380 500	1,3 1,16 1,0	6,72 6,2 6,02
АОТ-51/4	127/220 220/380 500	1,12 1,0 1,3	6,46 5,97 6,54
АОТ-52/4	127/220 220/380 500	1,4 1,25 1,08	8,0 7,4 7,25
АОТ-51/6	127/220 220/380 500	1,16 1,25 1,08	5,29 5,24 5,2
АОТ-52/6	127/220 220/380 500	1,16 1,04 0,93	6,5 6,0 6,26
АК-51/4	127/220 220/380 500	1,12 1,0 0,86	6,45 6,14 5,94
АК-52/4	127/220 220/380 500	1,2 1,3 1,08	7,85 8,0 7,25
АК-51/6	127/220 220/380 500	1,12 1,2 1,04	5,1 5,11 5,11
АК-52/6	127/220 220/380 500	1,16 1,04 0,93	6,5 6,0 6,26

Тип электродвигателя	Напряжение, *в*	Диаметр провода, *мм*	Вес меди, *кг*
	6-й габарит		
А-61/2	220/380 500	1,4 1,56	12,1 13,0
А-62/2	220/380 500	1,4 1,2	12,5 11,85
А-61/4	220/380 500	1,35 1,2	7,6 7,78
А-62/4	220/380 500	1,52 1,4	8,45 8,25
А-61/6	220/380 500	1,2 1,56	6,8 7,28
А-62/6	220/380 500	1,45 1,2	8,14 7,5
А-61/8	220/380 500	1,15 1,45	8,43 8,5
А-62/8	220/380 500	1,35 1,16	9,46 9,3
АО-62/2	220/380 500	1,3 1,62	14,4 14,65
АО-63/2	220/380 500	1,45 1,3	14,9 15,5
АО-62/4	220/380 500	1,56 1,35	8,9 8,9
АО-63-4	220/380 500	1,3 1,62	10,15 10,15
АО-62/6	220/380 500	1,35 1,16	7,6 7,72
АО-63/6	220/380 500	1,62 1,4	9,14 9,2
АО-62-8	220/380 500	1,16 1,5	8,6 8,98
АО-63/8	220/380 500	1,45 1,2	10,74 9,84
АС-61-4	220/380 500	1,45 1,25	7,84 7,96
АС-62/4	220/380 500	1,4 1,45	9,05 8,5

Тип электродвигателя	Напряжение, *в*	Диаметр провода, *мм*	Вес меди, *кг*
АОС-62/4	220/380	1,56	8,9
	500	1,35	8,9
АОС-63/4	220/380	1,3	10,15
	500	1,62	10,15
АС-61/6	220/380	1,3	8,65
	500	1,12	8,41
АС-62/6	220/380	1,5	9,65
	500	1,3	9,52
АОС-62/6	220/380	1,35	8,95
	500	1,12	8,53
АОС-63/6	220/380	1,3	10,25
	500	1,4	10,32
АС-61/8	220/380	1,16	8,15
	500	1,45	8,3
АС-62/8	220/380	1,35	9,1
	500	1,16	9,16
АОС-62-8	220/380	1,2	8,15
	500	1,62	9,48
АОС-63-8	220/380	1,45	10,2
	500	1,2	9,6
АП-61/4	220/380	1,45	8,44
	500	1,25	8,41
АП-62/4	220/380	1,68	9,06
	500	1,45	8,85
АОП-62/4	220/380	1,56	8,9
	500	1,35	8,9
АОП-63/4	220/380	1,3	10,15
	500	1,62	10,15
АП-61/6	220/380	1,3	8,65
	500	1,12	8,41
АП-62/6	220/380	1,5	9,65
	500	1,3	9,52
АОП-62/6	220/380	1,35	8,95
	500	1,12	8,53
АОП-63/6	220/380	1,3	10,25
	500	1,4	10,32
АП-61/8	220/380	1,2	8,45
	500	1,5	8,45

Тип электродвигателя	Напряжение, *в*	Диаметр провода, *мм*	Вес меди, *кг*
АП-62/8	220/380 500	1,4 1,25	9,35 9,8
АОП-62/8	220/380 500	1,2 1,62	8,15 9,48
АОП-63/8	220/380 500	1,5 1,3	10,35 10,35
АОТ-62/4	220/380 500	1,5 1,3	8,72 8,8
АОТ-63/4	220/380 500	1,68 1,45	9,6 9,45
АОТ-62/6	220/380 500	1,35 1,12	9,85 9,0
АОТ-63/6	220/380 500	1,08 1,35	10,35 10,65
АОТ-62/8	220/380 500	1,12 1,4	8,7 8,98
АОТ-63/8	220/380 500	1,35 1,16	10,7 10,62
АК-60/4	220/380 500	1,35 1,16	9,16 8,92
АК-61/4	220/380 500	1,5 1,3	9,0 9,1
АК-62/4	220/380 500	1,25 1,56	11,35 11,38
АК-60/6	220/380 500	1,16 1,5	10,1 10,85
АК-61/6	220/380 500	1,45 1,25	11,58 11,4
АК-62/6	220/380 500	1,62 1,4	12,51 12,58
АК-61/8	220/380 500	1,2 1,45	8,94 8,6
АК-62/8	220/380 500	1,50 1,25	10,98 10,4
7-й габарит			
А-71/2	220/380 500	1,4 1,45	17,3 16,4
А-72/2	220/380 500	1,62 1,4	18,7 18,6

Тип электродвигателя	Напряжение, *в*	Диаметр провода, *мм*	Вес меди, *кг*
А-71/4	220/380	1,4	12,7
	500	1,2	12,1
А-72/4	220/380	1,62	14,0
	500	1,4	13,8
А-71/6	220/380	1,2	12,2
	500	1,45	11,9
А-72/6	220/380	1,62	13,7
	500	1,4	13,5
А-71/8	220/380	1,56	11,43
	500	1,35	11,05
А-72/8	220/380	1,25	12,21
	500	1,56	12,75
АО-72/2	220/380	1,5	20,2
	500	1,62	19,8
АО-73/2	220/380	1,5	24,3
	500	1,5	24,2
АО-72/4	220/380	1,56	14,8
	500	1,35	14,3
АО-73/4	220/380	1,56	17,9
	500	1,62	16,6
АО-72/6	220/380	1,56	13,7
	500	1,35	13,5
АО-73/6	220/380	1,62	17,1
	500	1,62	16,9
АО-72/8	220/380	1,12	10,88
	500	1,45	11,6
АО-73/8	220/380	1,35	13,58
	500	1,12	12,56
АС-71/4	220/380	1,45	13,3
	500	1,3	14,3
АС-72/4	220/380	1,68	14,3
	500	1,5	15
АОС-72/4	220/380	1,56	14,8
	500	1,35	14,3
АОС-73/4	220/380	1,56	17,9
	500	1,62	16,6
АС-71/6	220/380	1,45	12,3
	500	1,56	12,6

Тип электродвигателя	Напряжение, *в*	Диаметр провода, *мм*	Вес меди, *кг*
АС-72/6	220/380 500	1,74 1,45	14,9 13,9
АОС-72/6	220/380 500	1,56 1,35	13,7 13,5
АОС-73/6	220/380 500	1,62 1,62	17,1 16,9
АС-71/8	220/380 500	1,62 1,4	12,3 11,8
АС-72/8	220/380 500	1,4 1,4	15,4 15,6
АОС-72/8	220/380 500	1,2 1,56	13,3 12,8
АОС-73/8	220/380 500	1,5 1,45	16,2 15,0
АП-71/4	220/380 500	1,45 1,3	13,3 14,3
АП-72/4	220/380 500	1,68 1,5	14,3 15
АОП-72/4	220/380 500	1,56 1,35	14,8 14,3
АОП-73/4	220/380 500	1,56 1,62	17,9 16,6
АП-71/6	220/380 500	1,45 1,56	12,3 12,6
АП-72/6	220/380 500	1,74 1,45	14,9 13,9
АОП-72/6	220/380 500	1,56 1,35	13,7 13,5
АОП-73/6	220/380 500	1,62 1,62	17,1 16,9
АП-71/8	220/380 500	1,62 1,4	12,3 11,8
АП-72/8	220/380 500	1,4 1,4	15,4 15,6
АОП-72/8	220/380 500	1,2 1,56	13,3 12,8
АОП-73/8	220/380 500	1,5 1,45	16,2 15,0

Тип электродвигателя	Напряжение, *в*	Диаметр провода, *мм*	Вес меди, *кг*
АОТ-72/4	220/380 500	1,45 1,25	14,2 13,8
АОТ-73/4	220/380 500	1,45 1,25	18,0 17,8
АОТ-72/6	220/380 500	1,45 1,25	13,3 12,9
АОТ-73/6	220/380 500	1,74 1,5	16,0 15,5
АОТ-72-8	220/380 500	1,62 1,4	12,7 12,5
АОТ-73/8	220/380 500	1,35 1,68	14,4 15,0
АК-71/4	220/380 500	1,56 1,35	16,8 16,3
АК-72/4	220/380 500	1,5 1,56	18,1 18,4
АК-71/6	220/380 500	1,68 1,45	18,0 17,5
АК-72/6	220/380 500	1,35 1,68	19,1 18,8
АК-71/8	220/380 500	1,45 1,56	14,9 14,9
АК-72/8	220/380 500	1,56 1,40	15,4 15,1
8-й габарит			
А-81/2	220/380 500	1,62 1,56	34,6 33,6
А-82/2	220/380 500	1,68 1,81	36,2 37,0
А-81/4	220/380 500	1,5 1,5	25,2 25,8
А-82/4	220/380 500	1,45 1,56	29,0 30.0
А-81/6	220/380 500	1,45 1,56	23,2 24,3
А-82/6	220/380 500	1 4 1,45	27,2 25,6

Тип электродвигателя	Напряжение, *в*	Диаметр провода, *мм*	Вес меди, *кг*
А-81/8	220/380	1,56	21,0
	500	1,56	20,0
А-82/8	220/380	1,45	22,8
	500	1,56	23,8
АО-82/2	220/380	1,68	36,1
	500	1,68	37,0
АО-83/2	220/380	1,74	40,0
	500	1,68	39,8
АО-82/4	220/380	1,68	31,3
	500	1,68	30,1
АО-83/4	220/380	1,62	35,0
	500	1,4	34,0
АО-82/6	220/380	1,56	27,0
	500	1,68	26,6
АО-83/6	220/380	1,56	30,8
	500	1,68	30,3
АО-82/8	220/380	1,35	23,0
	500	1,68	23,8
АО-83/8	220/380	1,35	25,2
	500	1,68	25,0
АС-81/4	220/380	1,5	25,2
	500	1,5	25,8
АС-82/4	220/380	1,45	29,0
	500	1,56	30,0
АОС-82/4	220/380	1,68	31,3
	500	1,68	30,1
АОС-83/4	220/380	1,62	35,0
	500	1,4	34,0
АС-81/0	220/380	1,45	23,2
	500	1,56	24,3
АС-82/6	220/380	1,74	25,8
	500	1,56	27,2
АОС-82/6	220/380	1,56	27,0
	500	1,68	26,6
АОС-83/6	220/380	1,56	30,8
	500	1,68	30,3
АС-81/8	220/380	1,62	21,4
	500	1,56	20,4

Тип электродвигателя	Напряжение, *в*	Диаметр провода, *мм*	Вес меди, *кг*
АС-82/8	220/380	1,3	22,6
	500	1,62	23,4
АОС-82/8	220/380	1,35	23,0
	500	1,68	23,8
АОС-83/8	220/380	1,35	25,2
	500	1,68	25,0
АП-81/4	220/380	1,5	25,2
	500	1,5	25,8
АП-82/4	220/380	1,45	29,0
	500	1,56	30,0
АОП-82/4	220/380	1,68	31,3
	500	1,68	30,1
АОП-83/4	220/380	1,62	35,0
	500	1,4	34,0
АП-81/6	220/380	1,45	23,2
	500	1,56	24,3
АП-82/6	220/380	1,74	25,8
	500	1,56	27,2
АОП-82/6	220/380	1,56	27,0
	500	1,68	26,6
АОП-83/6	220/380	1,56	30,8
	500	1,68	30,3
АП-81/8	220/380	1,62	21,4
	500	1,56	20,4
АП-82/8	220/380	1,3	22,6
	500	1,62	23,4
АОП-82/8	220/380	1,35	23,0
	500	1,68	23,8
АОП-83/8	220/380	1,35	25,2
	500	1,68	25,0
АК-81/4	220/380	1,56	28,4
	500	1,4	28,8
АК-82/4	220/380	1,5	31,0
	500	1,62	39,0
АК-81/6	220/380	1,56	27,9
	500	1,35	27,2
АК-82/6	220/380	1,5	30,8
	500	1,62	30,8

Тип электродвигателя	Напряжение, *в*	Диаметр провода, *мм*	Вес меди, *кг*
АК-81/8	220/380	1,68	24,2
	500	1,45	24,2
АК-82/8	220/380	1,4	27,6
	500	1,74	27,8
9-й габарит			
А-91/2	220/380	1,88	57,9
	500	1,68	61,7
А-92/2	220/380	1,88	69,9
	500	1,88	71,7
А-91/4	220/380	1,68	43,8
	500	1,45	42,4
А-92/4	220/380	1,68	51,4
	500	1,68	50,5
А-91/6	220/380	1,45	35,5
	500	1,5	36,8
А-92/6	220/380	1,68	41,6
	500	1,45	40,7
А-91/8	220/380	1,56	31,2
	500	1,56	31,2
А-92/8	220/380	1,5	37,7
	500	1,62	38,3
АО-93/2	220/380	1,88	67,8
	500	1,88	69,6
АО-94/2	220/380	1,95	78,0
	500	1,95	77,4
АО-93/4	220/380	1,68	55,5
	500	1,68	54,5
АО-94/4	220/380	1,62	64,4
	500	1,74	65,2
АО-93/6	220/380	1,68	46,2
	500	1,45	44,3
АО-94/6	220/380	1,56	51,2
	500	1,68	50,6
АО-93/8	220/380	1,45	38,8
	500	1,56	38,9
АО-94/8	220/380	1,68	45,6
	500	1,45	44,2

7—117

Тип электродвигателя	Напряжение, *в*	Диаметр провода, *мм*	Вес меди, *кг*
АС-91/4	220/380	1,68	43,8
	500	1,45	42,4
АС-92/4	220/380	1,62	52,8
	500	1,50	51,6
АОС-93/4	220/380	1,68	55,5
	500	1,68	54,5
АОС-94/4	220/380	1,68	64,4
	500	1,74	65,2
АС-91/6	220/380	1,5	36,4
	500	1,5	36,8
АС-92/6	220/380	1,56	42,5
	500	1,56	40,9
АОС-93/6	220/380	1,68	45,2
	500	1,45	44,3
АОС-94/6	220/380	1,56	51,2
	500	1,68	50,6
АС-91/8	220/380	1,68	34,1
	500	1,68	34,1
АС-92/8	220/380	1,56	37,2
	500	1,68	37,0
АОС-93/8	220/380	1,56	40,8
	500	1,68	39,0
АОС-94/8	220/380	1,45	43,2
	500	1,5	44,9
АП-91/4	220/380	1,68	43,8
	500	1,45	42,4
АП-92/4	220/380	1,62	52,8
	500	1,68	50,5
АОП-93/4	220/380	1,68	55,5
	500	1,68	54,5
АОП-94/4	220/380	1,62	64,4
	500	1,74	65,2
АП-91/6	220/380	1,45	35,5
	500	1,5	36,8
АП-92/6	220/380	1,74	41,0
	500	1,5	40,9
АОП-93/6	220/380	1,68	45,2
	500	1,45	44,3

Тип электродвигателя	Напряжение, *в*	Диаметр провода, *мм*	Вес меди, *кг*
АОП-94/6	220/380 500	1,56 1,68	51,2 50,6
АП-91/8	220/380 500	1,56 1,56	31,2 31,2
АП-92/8	220/380 500	1,5 1,62	37,7 38,3
АОП-93/8	220/380 500	1,45 1,56	38,8 38,9
АОП-94/8	220/380 500	1,68 1,45	45,6 44,2
АК-91/4	220/380 500	1,62 1,62	51,6 50,9
АК-92/4	220/380 500	1,56 1,62	52,4 59,9
АК-91/6	220/380 500	1,56 1,56	43,4 44,0
АК-92/6	220/380 500	1,81 1,56	47,4 47,0
АК-91/8	220/380 500	1,62 1,4	36,1 35,9
АК-92/8	220/380 500	1,35 1,68	41,5 42,7

Например, если в заводском исполнении был применен провод марки ПБД диаметром 1,5 *мм* (диаметр провода с изоляцией равен 1,77 *мм*), то без изменения коэффициента заполнения паза можно применить провод марки ПЭВ-1 диаметром 1,68 *мм* (диаметр провода с изоляцией равен 1,76 *мм*).

Увеличение сечения провода при этой замене составит:

$$\frac{1{,}68^2 - 1{,}5^2}{1{,}5^2} \cdot 100 = 25\%.$$

При более малых диаметрах провода подобная замена еще более эффективна. Это видно из следующего примера: провод марки ПБД диаметром 0,38 *мм* заменяется проводом марки ПЭВ-1 диаметром 0,55 *мм*, так как в изолированном виде диаметры этих проводов равны.

Увеличение сечения в этом случае составит:

$$\frac{0{,}55^2 - 0{,}38^2}{0{,}38^2} \cdot 100 = 110\%.$$

При отсутствии провода нужного диаметра можно заменить его двумя одинаковыми более тонкими проводниками, диаметр заменяющего провода должен быть в 1,41 раза меньше диаметра заменяемого провода.

Например, если требуется заменить провод диаметром 1,62 *мм*, то вместо него нужно взять два параллельных проводника диаметром: 1,62 : 1,41 = 1,15 *мм*. Этот размер проверяется по табл. 6 и берется провод ближайшего стандартного диаметра 1,16 *мм*.

Допускается также замена одного проводника двумя более тонкими, но различными между собой по диаметру.

Для подбора заменяющих проводов приводится табл. 10.

Следует учитывать, что эта вынужденная разбивка одного проводника на два параллельных, или замена требуемого проводника другим с более толстой изоляцией может повлечь за собой снижение сечения проводников.

В этом случае сохранение тепловых потерь, а следовательно, и нагрева обмотки статора на уровне заводского исполнения может быть произведено только за счет уменьшения номинальной мощности электродвигателя. Это уменьшение определяется соотношением

$$\frac{P_р}{P_з} = \sqrt{\frac{S_р}{S_з}},$$

где $P_з$ и $P_р$ — мощность электродвигателя до и после ремонта;

$S_з$ и $S_р$ — сечение провода до и после ремонта.

При круглых проводах величина $\sqrt{S_р/S_з}$ равна $d_р/d_з$, где $d_з$ и $d_р$ — диаметры провода до и после ремонта.

Намотку катушек для всыпных обмоток производят на станках со специальными шаблонами, имеющими несколько ячеек, позволяющих мотать одним непрерывным проводом несколько катушек. Число ячеек выбирается равным или кратным числу катушек в группе. Для электродвигателей малой мощности число ячеек равно полному числу катушек в фазе.

Естественно, что намотка катушек одним проводом упрощает процесс монтажа внутримашинных соединений.

Размеры катушек при перемотке обычно определяют по заводскому исполнению. Следует учитывать, что у электродвигателей малой мощности катушки являются

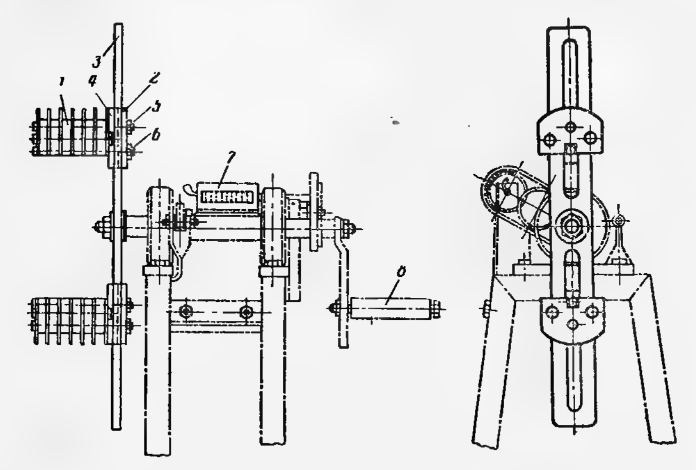


Рис. 2. Ручной станок для намотки катушек.

1 — колодка шаблона; *2* — планки; *3* — коромысло; *4* — ползун; *5* — шпилька: *6* — гайка; *7* — счетчик оборотов; *8* — ручка.

мягкими, податливыми, поэтому не так важно заснять форму катушки, как точно замерить длину витка.

Нужную же форму катушке придают в процессе ее укладки в пазы статора.

Длину витка можно определить также и расчетным путем:

$$l_{ср} = \frac{k(D_с + H)\,y_п}{z} + 2L_{ст} + 60, \text{ мм},$$

где $l_{ср}$ — средняя длина витка, *мм*;
$D_с$ — диаметр расточки статора, *мм*;
H — высота паза, *мм*;
$y_п$ — шаг обмотки по пазам;
$L_{ст}$ — длина стали статора, включая радиальные каналы, *мм*;
k — коэффициент, определяемой табл. 11;
z — число пазов статора.

На рис. 2 изображен станок с ручным приводом для намотки мягких катушек. Изменение размеров наматы-

	1,00	1,04	1,08	1,12	1,16	1,2	1,25	1,3	1,35	1,4	1,45
0,44	0,9	—	1,0	1,04	1,08	1,12	—	—	—	—	—
0,47	—	0,93	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,49	—	—	—	—	—	—	1,16	—	—	—	—
0,51	0,86	—	0,96	1,0	—	—	—	1,2	—	—	—
0,53	—	0,9	—	—	1,04	1,08	—	—	1,25	—	—
0,55	0,83	—	0,93	—	—	—	1,12	—	—	—	—
0,57	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,59	0,8	0,86	0,9	0,96	1,0	1,04	—	1,16	—	—	—
0,62	0,77	0,83	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,64	—	—	0,86	0,93	0,96	—	1,08	—	1,2	1,25	—
0,67	0,74	0,8	—	—	—	1,0	—	1,12	—	—	1,3
0,69	0,72	0,77	0,83	0,9	0,93	—	1,04	—	1,16	—	—
0,72	0,69	0,74	0,8	0,86	—	0,96	—	—	—	—	—
0,74	—	0,72	—	0,83	0,9	—	—	1,08	1,12	1,2	1,25
0,77	—	—	0,77	0,8	0,86	0,93	1,0	—	—	—	—
0,8	—	—	—	0,77	0,83	0,9	0,96	1,04	—	1,16	—
0,83	—	—	—	—	0,8	0,86	0,93	1,0	1,08	1,12	1,2
0,86	—	—	—	—	—	0,83	0,9	0,96	1,04	—	1,16
0,9	—	—	—	—	—	—	0,86	—	1,00	1,08	—
0,93	—	—	—	—	—	—	—	0,93	—	1,04	1,12
0,96	—	—	—	—	—	—	—	—	0,96	1,00	1,08
1,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,96	1,04
1,04	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,0
1,08	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,45	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,56	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,62	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,68	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,74	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,81	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,88	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

При замене провода, диаметр которого указан в верхнем горизон ром, второй берется по горизонтали влево от него в первом вертикальном + ∅0,51, или ∅ 1,16+∅ 0,59,

Таблица 10

1,5	1,56	1,62	1,68	1,74	1,81	1,88	1,95	2,02	2,1	2,26	2,44	2,63
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,35	1,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	1,45	1,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	1,35	1,4	—	1,56	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,25	1,3	—	1,45	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	1,35	—	1,5	—	—	1,74	—	—	—	—	—
1,2	1,25	—	—	—	1,56	1,68	—	—	—	—	—	—
1,16	—	1,3	1,4	1,45	—	—	—	—	—	—	—	—
1,12	1,2	—	—	—	1,5	—	1,68	—	—	—	—	—
1,08	1,16	1,25	—	1,4	—	1,62	1,62	1,74	—	2,02	—	—
1,04	1,12	1,2	1,3	1,35	1,45	—	—	—	1,81	—	—	—
—	1,08	1,16	1,25	—	—	1,56	—	1,68	—	—	—	—
—	—	1,12	—	1,3	1,4	—	1,56	—	—	1,95	—	—
—	—	—	1,2	1,25	1,35	1,5	—	1,62	1,74	1,88	—	—
—	—	—	—	1—2	1—3	1,45	1,5	—	1,68	—	—	—
—	—	—	—	—	1,25	1,4	1,45	1,56	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	1,35	1,4	1,5	1,62	1,81	—	—
—	—	—	—	—	—	—	1,35	1,45	1,56	—	2,02	2,26
—	—	—	—	—	—	—	—	1,4	1,5	1,74	1,95	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,45	1,68	1,88	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,62	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,81	2,1
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,74	2,02
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,68	1,95
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,88
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,81

тальном ряду—один берется из вертикального столбца под данным диамет-
столбце. Например: провод ∅ 1,3 *мм* заменяется проводами: ∅ 1,2 +
или ∅ 1,12 + ∅ 0,67 *мм* и т. д.

Таблица 11

Число полюсов $2p$	Значение коэффициента k
2	8,2
4	8,5
6	9,1
8 и болес	9,8

ваемых катушек достигается передвижением колодок шаблона *1* по коромыслу *3*.

Станок снабжен счетчиком оборотов. Надобность в этом счетчике объясняется тем, что число витков в катушках обмоток электродвигателей единой серии сравнительно невелико, и точность отсчета имеет большое значение. Лишние или недостающие витки могут явиться причиной брака.

На рис. 3 изображен универсальный шаблон, в котором изменение размеров катушки достигается путем передвижения шпилек *2* по плите *1*.

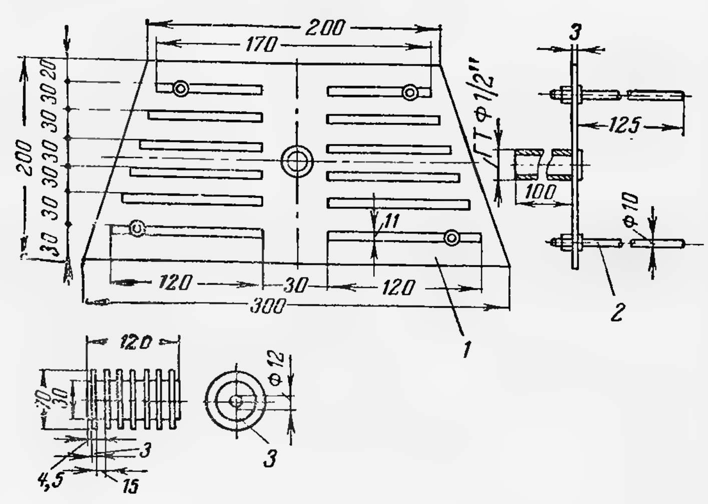


Рис. 3. Универсальный шаблон.
1 — плита; *2* — шпилькн; *3* — ролик.

При работе с шаблонами, имеющими большое количество ячеек, очень много времени затрачивается на снятие намотанных катушек.

Для быстрого снятия намотанных катушек применяют шарнирный шаблон (рис. 4). Для этого отвинчивают гайку *7* и снимают планку *6*. При повороте планок *3* и *5* вокруг осей головки *4* сходятся к центру, тем

самым освобождая все намотанные катушки. Конец обмоточного провода закрепляют за оправку *1*.

Катушкам с большим сечением провода трудно придать требуемую форму в процессе ее укладки в пазы.

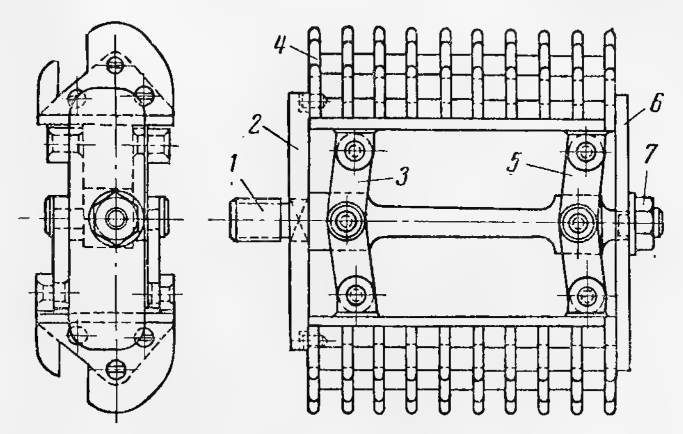


Рис. 4. Шарнирный намоточный шаблон.

Такие катушки изготовляются при помощи специальных шаблонов, показанных на рис. 5.

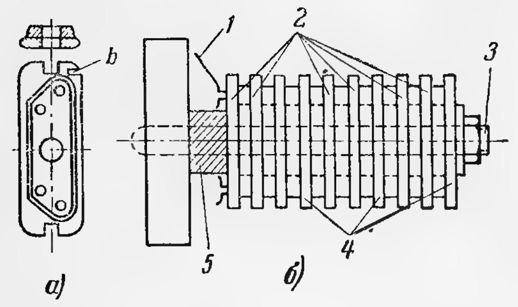


Рис. 5. Оправка-шаблон (*а*) и расположение шаблонов на шпинделе (*б*).

1 — скобочка; *2* — шаблон без крючка; *3* — шпиндель; *4* — шаблон с крючком; *5* — шайба.

Эти шаблоны изготовляются двух видов: с вырезом (крючком *b*) и без этого выреза. На шпинделе шаблоны с крючком устанавливаются по отношению к шаблонам без крючков развернутыми на 180°.

В зависимости от схемы обмотки, для которой предназначаются катушки, числа катушек, порядка их чередования и требуемого направления тока производится комплектовка этих шаблонов на шпинделе станка.

На рис. 5 расположение шаблонов сделано применительно к намотке всех катушек фазы обмотки, у которой: число полюсов $2p=6$; число пазов $z=27$; число пазов на полюс и фазу $q=1^1/_2$, т. е. чередование катушек в фазе составляет (2; 1), (2; 1) и т. д.

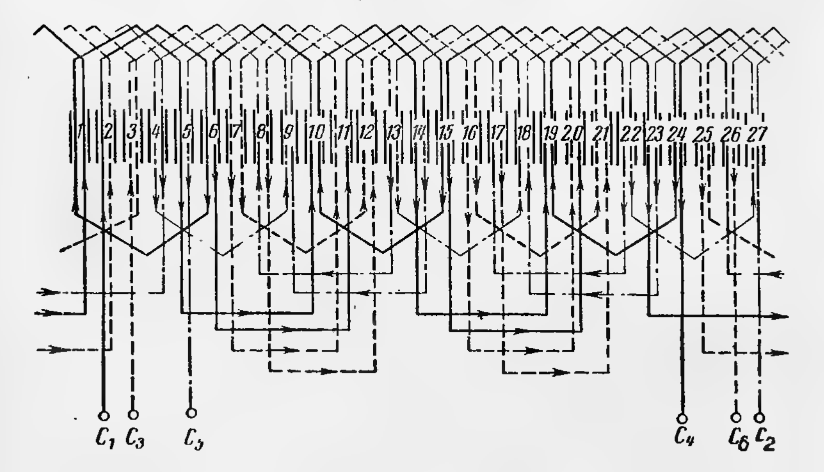


Рис. 6. Схема обмотки.

Схема соединений этой обмотки приведена на рис. 6. Намотка ее производится следующим образом. Закрепляют скобкой конец провода и подкладывают под него в вырезы шаблона куски ленты или шпагата; наматывают первую катушку и связывают ее подложенной лентой или шпагатом. Таким же способом наматывают вторую катушку. Для намотки третьей катушки, у которой направление тока должно быть противоположно токам первых двух катушек, делают «переход», т. е. огибают проводником крючок третьего шаблона. После намотки третьей, четвертой и пятой катушек опять огибают крючок. Последний (третий переход) — делают при намотке девятой катушки.

После намотки катушек фазы отвертывают гайку на конце шпинделя и снимают все катушки.

Весьма важно правильно определить размеры шаблона.

Ниже выполнен числовой пример и приведены расчетные формулы определения размеров шаблона для намотки катушек, имеющих следующие параметры:

число полюсов $2p=6$;
диаметр расточки статора $D_с=118$ *мм*;
число пазов $z=27$;
длина стали $L_{ст}=122$ *мм*;
шаг катушки $y_п=4$;
число витков в катушке $m=43$;
диаметр голого провода $d_г=0{,}86$ *мм*;
диаметр изолированного провода $d=1{,}02$ *мм*;
двусторонняя толщина пазовой изоляции $2i=1{,}3$ *мм*;
высота паза $H=21{,}7$ *мм*;
средняя ширина паза $b_п=8{,}85$ *мм*.
В соответствии с указанным определяется:
средняя ширина каждой стороны катушки

$$b_с=b_п-2i=8{,}85-1{,}3=7{,}55 \text{ мм}.$$

Ширина катушки равна:

$$\tau_y=\frac{\pi(D_с+H)}{z}\,y_п=\frac{\pi(118+21{,}7)}{27}\cdot 4=65 \text{ мм};$$

ширина шаблона (рис. 7) определяется:

$$\tau_ш=(\tau_y-b_с)\cdot 1{,}04=(65-7{,}55)\cdot 1{,}04=60 \text{ мм};$$

средняя длина лобовой части витка $l_в=k\tau_y+30$, где k берется по табл. 12, тогда $l_в=1{,}45\cdot 65+30=124$ *мм*.

Таблица 12

Число полюсов $2p$	Значение коэффициента k
2	1,3
4	1,35
6	1,45
8 и более	1,55

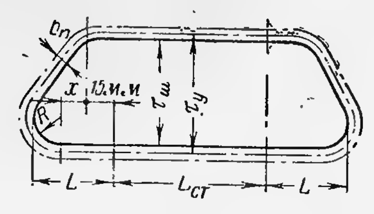


Рис. 7. Контур шаблона.

Длина контура лобовой части шаблона

$$l_ш=l_в-30-\frac{\pi b_с}{2}=124-30-\frac{\pi 7{,}55}{2}=82 \text{ мм}.$$

Определяется вспомогательная величина

$$k_ш=\frac{l_ш}{\tau_ш}=\frac{82}{60}=1{,}38.$$

По полученному значению $k_ш$ находим отношение $R/\tau_ш$ для $x = 0$ и для $x = 0{,}1\tau_ш$.

По кривым (рис. 8) при $x = 0$ значение $R/\tau_ш = 0{,}39$, откуда $R = \tau_ш\, 0{,}39 = 60 \cdot 0{,}39 = 24$ *мм.*

Для $x = 0{,}1\tau_ш = 0{,}1 \cdot 60 = 6$, значение $R/\tau_ш = 0{,}288$, тогда $R = \tau_ш 0{,}288 = 60 \cdot 0{,}288 = 17$ *мм.*

При этих двух значениях R и x определяется величина

$$L = 15 + x + R;$$

при $x = 0$ $L = 15 + 0 + 24 = 39$ *мм*; при $x = 0{,}1$, $\tau_ш = 6$ *мм* $L = 15 + 6 + 17 = 38$ *мм.*

Величина L выбирается наибольшей, т. е. 39 *мм.* Толщина сердечника

$$b = \frac{md^2}{b_c} = \frac{43 \cdot 1{,}02^2}{7{,}55} = 6 \text{ мм.}$$

В электродвигателях единой серии малой мощности применяются концентрические однослойные обмотки. Для намотки целиком катушечной группы таких обмоток служит ступенчатый шаблон (рис. 9). Число ступеней этого шаблона равно числу катушек в группе.

Укладка обмоток. Укладка обмоток является одной из наиболее ответственных операций технологического процесса ремонта. Перед укладкой обмотчик должен получить и подробно ознакомиться с обмоточно-расчетной запиской ремонтируемого электродвигателя, в которой должны быть указаны:

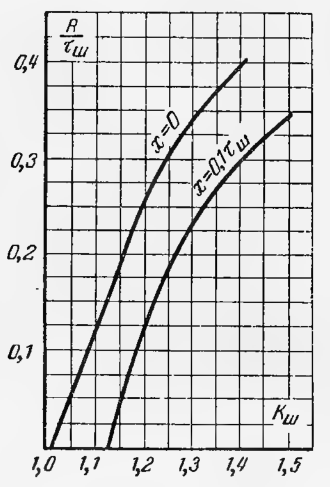
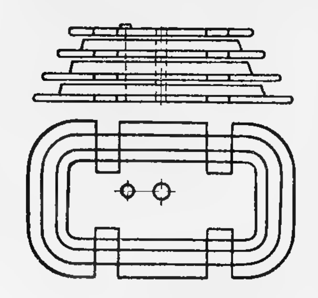


Рис. 8. Кривые для расчетов размеров шаблона.


Рис. 9. Ступенчатый шаблон.

1) паспортные данные электродвигателя — его мощность, напряжение и скорость вращения;
2) число пазов статора;
3) марка и размеры обмоточного провода;
4) вид обмотки;
5) число витков в катушке;
6) число параллельных проводов в каждом витке;
7) шаг обмотки;
8) число параллельных ветвей в фазе;
9) число катушек в группе;
10) порядок чередования катушечных групп.

Пакеты активной стали статора, поступающего в обмотку, должны быть полностью приведены в исправность. Производить какие-либо механические работы после укладки обмотки недопустимо, это может привести к повреждению изоляции обмоток.

Статор должен быть полностью подготовлен к укладке обмотки, пазы прочищены, продуты и проверены по размерам.

Так же должны быть подготовлены все изоляционные детали и катушки обмотки.

Каждый обмотчик, помимо обычного измерительного и монтерского инструмента (плоскогубцы, круглогубцы, кусачки, стальной и деревянный молотки, мерные линейки и др.), должен иметь специальный инструмент (рис. 10).

Во избежание порчи изоляции в процессе укладки обмоток инструмент должен содержаться в полном порядке, не иметь зазубрин, заусенцев и других дефектов.

Рабочим местом обмотчика является поворотный стол, дающий возможность поворачивать статор вокруг вертикальной оси (рис. 11). Он состоит из верхнего поворотного диска *1* и нижнего неподвижного диска *6*, прикрепленного к верстаку *8* с помощью болтов *5*. В дисках проточена кольцевая канавка, в которую заложены шарики *4*, что дает возможность легко поворачивать диск *1* вокруг оси вращения *7*. Втулка *2* служит для подачи смазки в эту ось. Фиксация положения поворотного диска по отношению к неподвижному осуществляется защелкой *3*, входящей в прорези, расположенные по периферии диска *1*.

Для поворота статора вокруг его горизонтальной оси служит роликовое приспособление (рис. 12).

Указанные два приспособления дают возможность установить и закрепить статор в любом удобном для обмотчика положении при незначительных усилиях с его стороны, что в свою очередь определяет продуктивность обмоточных работ.

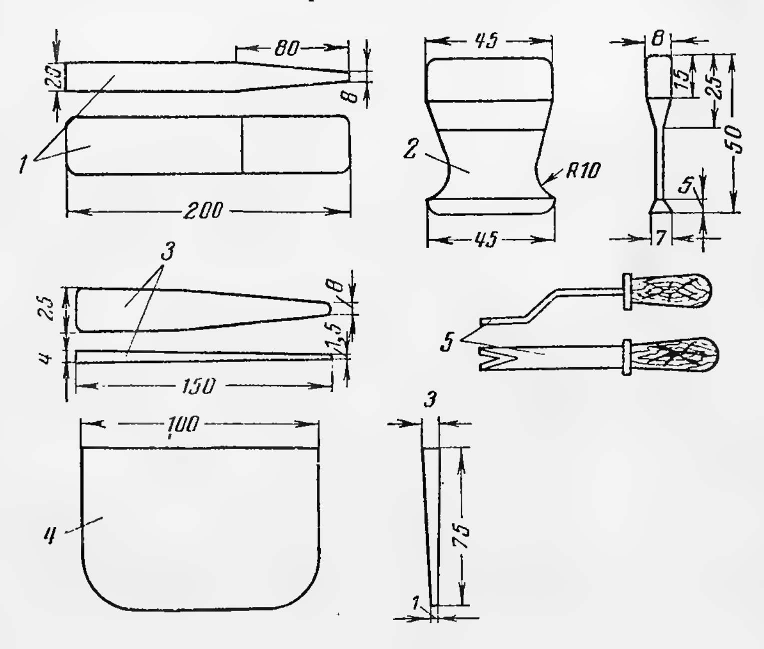


Рис. 10. Набор инструментов обмотчиков.

1 — текстолитовая клиновидная пластина для отгиба лобовых частей; *2* — набор из 5—6 шт. подбоек для уплотнения проводов в пазу; *3* — пластинка из стали (считалка) с закругленными гранями для переборки витков при их подсчете, подправки и загибки провода; *4* — пластинки из текстолита или гетинакса для проталкивания проводов через шлиц паза; *5* — специальный нож для обрезки краев пазовых коробок, выступающих из пазов.

Обычный способ укладки двухслойной обмотки — способ с подъемом шага — заключается в том, что так называемые шаговые катушки (число которых численно равно шагу обмотки), закладываются своими нижними сторонами на дно паза. Верхние же стороны этих катушек пока остаются неуложенными. Затем укладываются остальные катушки своими верхними и нижними сторонами.

Верхние стороны шаговых катушек укладываются последними и, находясь в расточке статора, чрезвычай-

но усложняют процесс укладки обмотки, особенно при малых диаметрах расточки. Поэтому для электродвигателей с малыми диаметрами расточки применяется способ, при котором шаговые катушки укладываются своими обоими сторонами на дно паза. Все остальные

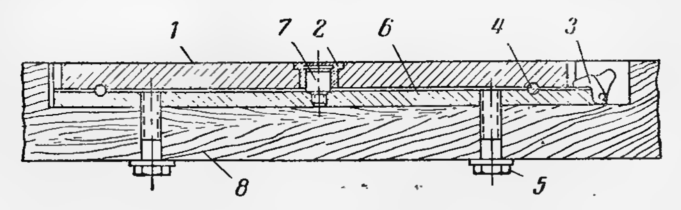


Рис. 11. Поворотный стол.

катушки, кроме катушек последнего шага, укладываются как обычно в двухслойной обмотке одной стороной катушки на дно паза, а другой стороной — вверху паза.

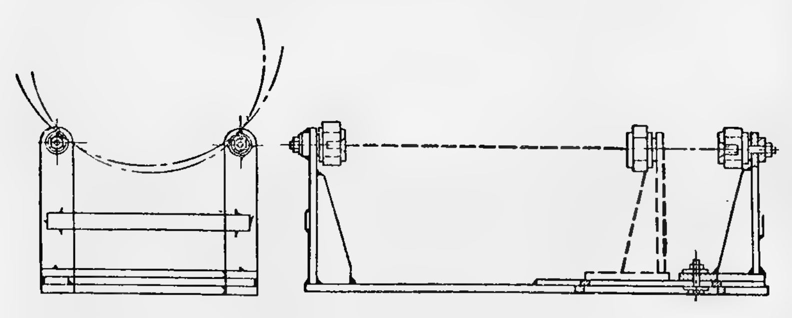


Рис. 12. Приспособление для поворота статора.

Оставшиеся катушки последнего шага своими обоими сторонами укладываются вверху паза. Торцовая схема этой укладки указана на рис. 13.

В каждом отдельном случае следует решить, какой из указанных двух способов укладки обмотки является предпочтительным, учитывая, однако, что при первом способе укладки, обмотка имеет более правильный аккуратный вид.

Технологический процесс укладки обмотки должен начинаться с проверки симметричности расположения пазовых коробок.

При пазовых коробках, не перекрывающих собой обмотку (табл. 3 и 4), для предохранения коробок от повреждения при закладке проводов катушки в шлицы вставляют временные направляющие вкладыши, удаляемые после укладки катушки.

Катушку, подлежащую укладке, располагают над пазом, находящимся в самом низу расточки, и, пользуясь специальной пластинкой (рис. 10, *4*), проталкивают все проводники катушки.

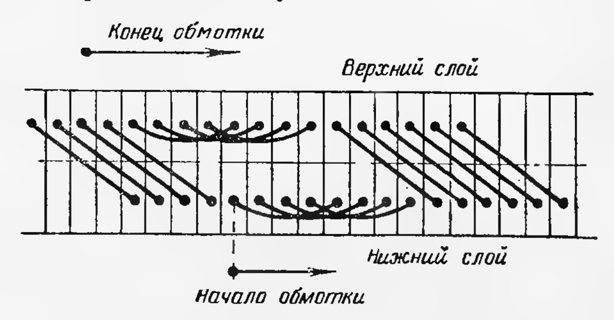


Рис. 13. Торцовая схема укладки обмотки.

Во избежание перекрещивания проводников в пазу укладку их нужно производить в том же порядке, в котором эти проводники наматывались на шаблон. Необходимо внимательно следить, чтобы все проводники располагались параллельно друг другу. Указанным способом, поворачивая каждый раз корпус статора на одно пазовое деление, укладывают на дно паза все остальные катушки первой катушечной группы.

Вслед за тем в пазы закладываются межслойные прокладки, а начало и конец катушечной группы надежно прикрепляются лентой, шпагатом или «чулком» по наружному контуру головок лобовых частей крайних катушек. Выводные концы располагают параллельно проводам катушки.

Таким же способом укладываются своими нижними сторонами катушки следующей катушечной группы — до тех пор, пока не будут заложены стороны всех катушек, входящих в шаг.

Далее все катушки укладываются в пазы как нижними, так и верхними сторонами, причем после укладки нижних сторон катушек в пазы закладываются меж-

слойные прокладки, закрепляются начала и концы групп, а затем закладываются верхние стороны катушечных групп. Межслойные прокладки, будучи уложены неправильно, с перекосом, не только не достигают своей цели — изолировать между собой стороны разных катушек, уложенных в один паз (катушки могут принадлежать разным фазам), но и могут явиться причиной брака при уплотнении обмотки.

Закладка верхних сторон катушек является более ответственной и трудоемкой операцией, чем закладка нижних сторон, так как часть паза уже заполнена проводами нижней катушки и межслойной прокладкой.

Перед закладкой проводов верхних катушек производится уплотнение проводов в пазу. Для этого в паз вставляют уплотнитель, продвигают его по межслойной прокладке и одновременно с продвижением ударяют по нему молотком, тем самым осаживая обмотку ко дну паза. Перед укладкой провода верхних катушек тщательно выравниваются и через шлиц закладываются в паз.

В некоторых случаях после укладки только части проводов верхней катушки приходится повторно уплотнять паз.

После укладки всех витков из паза удаляются направляющие вкладыши, вновь уплотняют провода в пазу, закладывают подклиновые прокладки и заклинивают паз.

Толщина пазового клина должна быть выбрана таким образом, чтобы обеспечить достаточно плотное, но не чрезмерное закрепление проводов в пазу.

Если по конструктивному исполнению предусмотрено перекрытие краев пазовой коробки (табл. 2), нужно легкими ударами молотка через уплотнитель обить края коробки по всей длине паза, натереть клин парафином, срезать его конец на конус на длине 3—5 *мм* и завести этот конец клина в паз с торца пакета стали. Затем, не вынимая уплотнителя из паза, легкими ударами молотка забивают клин, продвигая уплотнитель впереди клина и прижимая им края коробки.

В случаях, когда пазовые коробки предусмотрены без загиба, клин вставляется внутрь пазовой коробки. Процесс забивки клина не отличается от описанного, но забивку нужно производить с особой осторожностью, не

допуская заедания пазовой коробки забиваемым клином, при котором можно легко повредить пазовую коробку.

После укладки верхних сторон катушек и заклиновки пазов в лобовых частях между катушечными группами устанавливаются прокладки под первые катушки каждой группы. Эти прокладки называются междуфазными и являются изоляцией между соседними катушками, принадлежащими к разным фазам.

Форма междуфазных прокладок должна повторять форму лобовых частей обмотки с припуском в 5—7 *мм* по всему контуру.

Междуфазные прокладки должны не только перекрывать концы выступающих из пазов межслойных прокладок, но и надежно отделять нижние стороны катушечных групп от верхних сторон, расположенных в этих пазах.

Перед укладкой последних катушек необходимо незаложенные ранее в пазы верхние стороны катушек первого шага отогнуть к центру расточки, для того чтобы создать возможность укладки нижних сторон последних катушек.

Укладка верхних сторон шаговых катушек, которые подвергались резким перегибам в лобовых частях и провода которых могут быть перепутаны между собой, требуют внимания и достаточных производственных навыков обмотчиков.

До укладки проводники расправляют и придают им нужную форму. Укладку в пазы необходимо производить осторожно, следя за целостью изоляции, параллельностью и отсутствием перекрещивания проводников.

В процессе укладки обмотки должен производиться отгиб (отбойка) лобовых частей в направлении от внутреннего к наружному диаметру стали статора. Этот отгиб, величина которого составляет 6—8°, должен обеспечивать возможность свободного ввода ротора в расточку статора.

Чтобы не повредить вылеты пазовых коробок, отгиб лобовых частей должен начинаться не ближе 10—15 *мм* от торца пакета стали. Производится отгиб специальной пластиной, накладываемой всей своей поверхностью на лобовые части. Для проверки симметричности отгиба

142—2

по окружности статора рекомендуется пользоваться специальным шаблоном.

Так как при отгибе лобовых частей катушки плотно прижимаются друг к другу и изоляция проводов может быть при этом нарушена, рекомендуется в местах соприкосновения катушек закладывать между ними дополнительную изоляцию из прокладок лакоткани.

Пропитка обмоток. Эксплуатационная надежность электрических машин определяется не только видом и качеством применяемых материалов для изоляции обмоток, но и правильной пропиткой обмоток.

Помимо повышения электрических и механических качеств изоляции, пропитка повышает также ее нагревостойкость и влагостойкость, улучшает ее теплопроводность.

Применяемые электроизоляционные лаки представляют собою пленкообразующие растворы твердых веществ, так называемой основы лака — смол, битумов, высыхающих масел (льняного и тунгового), а также смеси этих веществ со специальными растворителями, обладающими способностью испаряться при нагреве (бензин, толуол, скипидар, бензол, уайт-спирит и др.).

В состав лаков входят также сиккативы—ускорители высыхания.

Электроизоляционные лаки подразделяются на пропиточные, покровные и клеющие.

Сущность процесса пропитки состоит в удалении влаги из пор изоляционных материалов, заполнения этих пор жидким лаком и сушки лака для перевода его в твердое состояние.

Назначение покровных лаков — создание на поверхности обмотки прочного слоя, защищающего изоляцию от механических воздействий в процессе сборки и эксплуатации, а также создание гладкой пленки, затрудняющей оседание и накопление грязи и пыли, создание непроницаемого слоя, исключающего попадания в обмотку влаги, паров, масла, бензина, кислот, щелочей и других химических реагентов.

В некоторых случаях при наличии в охлаждающем воздухе не только угольной и металлической пыли, но и активных концентрированных химических реагентов применение покровных лаков может оказаться недостаточным для защиты обмоток. В этом случае применяет-

ся дополнительное покрытие специальными эмалями и обмазками, создающими более надежную защиту обмоток от внешних воздействий.

Эмали представляют собой смесь изоляционного лака с неорганическим наполнителем, улучшающим адгезию и механические свойства лака.

В зависимости от лака, входящего в состав эмалей, последние могут быть как воздушной сушки — эмаль марки ГФ-92-ХС (бывшее наименование СВД), так и печной — эмаль марки ГФ-92-ГС (бывшее наименование СПД). Первая из этих эмалей применяется для обмоток класса изоляции А, а вторая — для обмоток класса изоляции В.

Клеящие лаки применяются как при изготовлении изоляционных материалов, так и для прочного скрепления между собой отдельных элементов уложенной обмотки, чтобы устранить возможность относительного перемещения и истирания проводниковой и витковой изоляции.

Помимо указанных выше электроизоляционных качеств, все применяемые лаки должны не сильно размягчаться и быть эластичными при нагреве до допускаемых соответственно классу изоляции температур, не оказывать вреднего воздействия на медь, сталь и изоляционные материалы, обладать достаточной адгезией, а также не быть токсичными, дефицитными, дорогостоящими и обладать малой горючестью.

Каждому виду лака соответствует свой вид или своя группа растворителей и сиккативов. Все растворители и сиккативы в большей или меньшей степени ядовиты и огнеопасны. Особенно ядовитым является бензол. При работе с растворителями следует очень строго соблюдать правила охраны труда и пожарной безопасности.

По режиму сушки лаки подразделяются на лаки горячей сушки, у которых устойчивая прочная пленка образуется при сушке в печах при относительной высокой температуре, и лаки воздушной сушки, у которых образование пленки происходит на воздухе при комнатной температуре.

Ниже приводятся основные группы лаков, применяемых для ремонта обмоток с классом изоляции А и В, относятся:

Масляные лаки. По своей нагревостойкости они

относятся к классу изоляции А. Пленка после высыхания у них эластична, достаточно влагостойка и стойка также к нагретому минеральному маслу (трансформаторному, смазочному).

Ввиду применения для изготовления этих лаков дефицитных льняных и тунговых масел использование этих лаков ограничено. Они заменяются лаками, основа которых состоит из синтетических смол.

Масляно-битумные лаки. По нагревостойкости лаки относятся к классу изоляции А. Пленка гибка, влагостойка, но не противостоит минеральным маслам.

Глифталевые и масляно-глифталевые лаки и эмали. По нагревостойкости относятся к классу изоляции В. Пленка масляно-глифталевых лаков гибка, эластична и стойка к нагретому минеральному маслу. Некоторые виды глифталевых лаков (лак 1155 и др.) образуют твердые, негибкие пленки, применяемые при изготовлении твердых миканитов.

Водоэмульсионные лаки представляют собой устойчивые эмульсии лаковых основ в воде. Лаковые основы могут изготовляться из синтетических смол (фенолоформальдегидные смолы), а также из высыхающих масел — льняного и тунгового.

Водоэмульсионные лаки не огнеопасны, обладают хорошей пропитывающей и цементирующей способностями. Относятся они к классу изоляции А. Выпускаются эти лаки двух марок: 321-В и 321-Т. Пленка лака 321-В прочная, но мало эластичная. Пленка лака 321-Т более эластична, но несколько менее прочная.

Лаки на органических растворителях поступают от заводов-изготовителей примерно 50%-ной концентрации и на месте разбавляются до нужной концентрации.

Водоэмульсионные лаки поступают только в виде основы лака и на месте соединяются в специальных лопастных мешалках (эмульсаторах) с необходимым количеством воды до получения эмульсионного лака.

При пропитке водоэмульсионными лаками не требуется предварительная сушка обмоток, как это имеет место при пропитке обмоток масляными, битумными и глифталевыми лаками.

В зависимости от вида изоляции обмоточного провода выбирается лак для пропитки обмоток. Лак дол-

жен хорошо сцепляться с изоляцией провода, обладать достаточной цементирующей способностью, а также не оказывать вредного химического воздействия на изоляцию. Поэтому для обмоток из проводов, имеющих хлопчатобумажную изоляцию или комбинированную хлопчатобумажную и эмалевую изоляцию, пригодны любые из указанных выше лаков, даже с низкими цементирующими качествами. Обмотки электродвигателей общепромышленного назначения единой серии А при классах изоляции А и В в заводском исполнении пропитываются лаками 447 или ГФ-95 (1154).

Масляно-битумные лаки не пригодны для проводов с эмалевой изоляцией марок ПЭВ и ПЭЛР, так как эти лаки плохо сцепляются с изоляцией провода. Для пропитки обмоток из этих проводов применяется меламиноглифталевый лак марки МЛ-92, представляющий собою смесь масляно-глифталевого лака с 16% меламиновой смолы.

Обмотки из проводов ПЭВ-2 и ПЭЛР-2 предпочтительно пропитывать также лаком МЛ-92.

Водоэмульсионные лаки, несмотря на ряд достоинств, о которых упоминалось выше, не находят повсеместного применения из-за их агрессивного воздействия на эмалевую изоляцию проводов.

Физико-химические характеристики упомянутых лаков и эмалей приведены в табл. 13.

Указанные в табл. 13 лаки и эмали производят заводы химической промышленности. Аналогичные по свойствам, но отличные по наименованиям лаки и эмали производят непосредственно у себя некоторые электромашиностроительные заводы.

Для определения взаимозаменяемости приводится табл. 14.

Основным оборудованием для сушки и пропитки обмоток являются:

Сушильная печь с температурой нагрева до 150—200° С, с возможностью регулировки температуры и желательно с автоматическим устройством и аппаратурой для поддержания температуры на требуемом уровне.

При сушке должна быть обеспечена циркуляция горячего воздуха и удаление паров воды и паров разбавителей.

Таблица 13

Классификация по основе	Обозначение или № лака, эмали	Режим сушки		Электрическая прочность, *кв/мм*	Разбавитель	Характеристика и область применения
		Температура, °С	Время, *ч*			
Масляно-битумные	БТ-95 (441) ГОСТ 6244-52	150	16—18	70—75	Бензин, ксилол, скипидар, уайт-спирит и их смеси	Клеящий лак горячей сушки. Применяется для клейки слюды и изоляции
	447 ГОСТ 6244-52	105	6	55—80	То же	Пропиточный лак горячей сушки. Применяется для пропитки проводов с волокнистой изоляцией. Пленка лака влагостойка, эластична и маслостойка
	458 ГОСТ 6244-52	105	2—3	55—80	То же	То же, но пленка лака менее маслостойка. Применяется при необходимости в быстрой сушке обмоток
	БТ-99 (462п) ГОСТ 8017-56	20	2—3	50—60	То же	Покровный лак воздушной сушки. Применяется для покрытия пропитанных обмоток, влагостоек
	317 ТУ НКХП 133-46	20	12—14	40—50	То же	То же, но уступает по электроизоляциионным качествам
	318 ТУ НКХП 133-46	105	10—12	50—60	То же	Пропиточный лак горячей сушки. По свойствам близок к лаку 458, но уступает ему по маслостойкости

Продолжение табл. 13

Классификация по основе	Обозначение или № лака, эмали	Режим сушки		Электрическая прочность, *кв/мм*	Разбавитель	Характеристика и область применения
		Температура, °С	Время, *ч*			
Масляно-глифталевые	ГФ-95 (1154) ГОСТ 8018-56	105	1—2	65—75	Уайт-спирит, ксилол, сольвент, нафта, бензин и их смеси	Пропиточный и покровный лак горячей сушки. Применяется для обмоток, подверженных действиям минеральных масел
	КФ-95 (321) ГОСТ 8018-56	105	1—2	60—70	Сольвент нафта, бензин, уайт-спирит и их смеси	То же, но несколько менее маслостоек
Глифтале-меламино-формальдегидные *	МЛ-92 (МГП-16)	105	1	60—90	Смесь уайт-спирита с толуолом в отношении 1:1	Пропиточный и покровный лак горячей сушки. Пленка лака с повышенной влаго-и маслостойкостью
Водоэмульсионные	321-В ВТУ ОАБ 504-015	105	2,5—3,0	55—70	Вода	Пропиточный лак горячей сушки. По сравнению с пропиточными лаками на масляно-битумных и масляно-глифталевых основах обладает высокой цементирующей способностью
	321-Т ВТУ ОАБ 504-015	105	3—4	50—70	То же	То же, но несколько более нагревостоек

Продолжение табл. 13

Классификация по основе	Обозначение или № лака, эмали	Режим сушки		Электрическая прочность, *кв/мм*	Разбавитель	Характеристика и область применения
		Тепера-тура, °С	Время, *ч*			
Глифтале-масляные	ГФ-92-ГС (СПД) ГОСТ 9151-59	105	2—3	30—40	Смесь толуола и уайт-спирита, сольвент нафта	Эмаль горячей сушки. Пленка серого цвета. Маслостойка и дугостойка. Применяется для дополнительного покрытия обмоток
	ГФ-92-ХС (СВД) ГОСТ, 9151-59	20	20—24	30—35	То же	То же, но воздушной сушки
	КПД ТУ МХП 2007-49	105	2—3	30—35	То же	Эмаль горячей сушки. Пленка красного цвета. По свойствам близка к эмали ГФ-92-ГС, но менее дугостойка
	ГФ-92 ХК (КВД) ГОСТ 9151-59	20	20—24	30—35	То же	Эмаль воздушной сушки. Пленка красного цвета по свойствам близка к эмали ГФ-92-ХС, но менее дугостойка

Таблица 14

Изготовители лаков

Заводы химической промышленности	Завод „Электросила"	ХЭМЗ
447	47	Л1100
458	60	Л1100
БТ-99 (462П)	26	Л2320
ГФ-95 (1154)	—	Л1250
ГФ-92-ГС (СПД)	96	Л2260
ГФ-92-ХС (СВД)	83	Л2463
ГФ-92-ХК (КВД)	93	Л2464

Температура должна быть стабильной во всем объеме печи. Несоблюдение этого влечет к недостаточной сушке в зонах с пониженной и чрезмерной сушке в зонах с повышенной температурой.

На рис. 14 представлена сушильная печь, достаточно хорошо зарекомендовавшая себя в эксплуатации.

Каркас печи имеет двойные стенки, между которыми заложена шлаковата или минеральная вата, облицованные с боков и сверху пеношамотным кирпичом.

Нагреватели печи обычно трубчатые, рассчитываются на создание температуры в рабочей зоне до 200° С, что позволяет сушить обмотки и электродвигатели с различными видами изоляции, в том числе и кремнийорганической.

Сушка изделий производится циркулирующим горячим воздухом. Нагнетаемый вентилятором, воздух проходит через нагреватели, поступает в печь через входной патрубок (в середине печи), омывает подвергающиеся сушке изделия и по трубам, расположенным на боковых стенках печи, поступает опять в вентилятор.

Разность температур в рабочей зоне печи 5—8° С.

Для удаления паров и подсоса свежего воздуха воздухопровод имеет регулируемую задвижку.

Ванна для пропитки лаком обмоток электродвигателей. Объем и размеры ванны должны быть рассчитаны на погружение в нее пропитываемых электродвигателей.

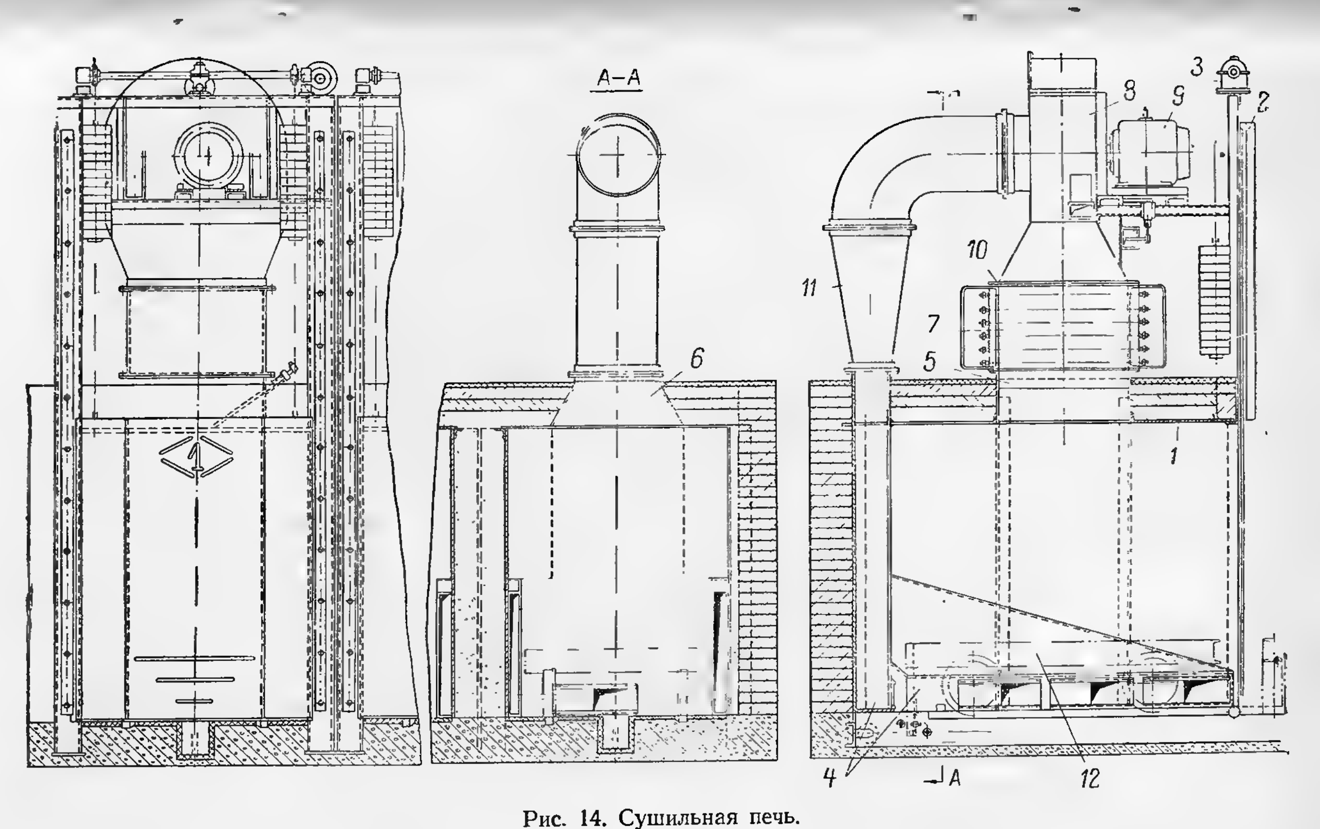


Рис. 14. Сушильная печь.

1 — каркас; *2* — дверь; *3* — механизм подъема двери; *4* — короб; *5* — патрубок калорифера; *6* — патрубок вытяжной; *7* — калорифер; *8* — вентилятор; *9* — электродвигатель; *10* — прокладка; *11* — всос воздуха; *12* — тележка.

Вязкость залитого в ванну лака периодически, 1 раз в 5—7 дней, должна проверяться. Допустимая вязкость по вискозиметру ВЗ-4 при 20° С составляет:

для лаков 447 и 458 — от 20 до 36 *сек*;
для лака БТ-99 — от 30 до 60 *сек*;
для лака ГФ-95 — от 30 до 50 *сек*.

Для измерения вязкости лака можно также пользоваться воронкой НИЛК или вискозиметром Энглера.

Величина вязкости, определяемая по воронке НИЛК, в 4 раза меньше соответствующего значения по вискозиметру ВЗ-4.

Перевод вязкостей, замеренных по воронке НИЛК и по вискозиметру Энглера, приведен в табл. 15.

Таблица 15

Вязкость по воронке НИЛКа при 20° С, *сек*	Вязкость по вискозиметру Энглера при 50° С, ° Е,	Вязкость по воронке НИЛК при 20°С, *сек*	Вязкость по вискозиметру Энглера при 50° С, °Е
1	0,69	11	7,07
2	1,38	12	7,29
3	2,09	13	7,47
4	2,79	14	8,10
5	3,45	15	8,50
6	4,14	16	9,10
7	4,84	17	10,29
8	5,02	18	10,39
9	5,63	19	11,50
10	6,85		

Также периодически должна проверяться пленка, образуемая лаком. Для проверки следует опустить в бак полоску электрокартона или бумаги, вынуть ее и дать лаку стечь. Пленка лака должна быть ровной, без просветов.

Для разбавления загустевшего лака доливка разбавителя в него производится небольшими порциями при перемешивании. Температуры разбавителя и лака должны быть близкими между собой.

Применение несоответствующих растворителей может повлечь за собой свертывание лаковой основы и порчу всего лака.

Пропитка обмоток лаками слагается из предварительной сушки до пропитки, собственно пропитки (двукратной) и сушки после пропитки.

Предварительная сушка имеет целью удаление влаги из волокнистой изоляции, а также подогрев обмоток для улучшения проникновения лака при последующей пропитке.

При пропитке водоэмульсионными лаками не требуется предварительная сушка обмоток.

При слюдяной изоляции можно ограничиться только подогревом обмотки — без сушки ее.

После сушки при остывании статора до температуры 50—70° С он погружается в ванну с лаком на 150—200 *мм* ниже уровня лака, выдерживается в лаке до прекращения выделения пузырьков воздуха, что свидетельствует о полном проникновении лака в обмотку.

По окончании первой пропитки статор вынимается из ванны, устанавливается на решетку для стекания с него излишка лака и погружается в печь для сушки. Число указанных пропиток и сушек обычно составляет две, а для ответственных электрических машин и машин, работающих в тяжелых условиях эксплуатации увеличивается до трех.

После каждой пропитки тряпкой, смоченной в растворителе, удаляется лак с тех мест, которые не должны лакироваться (выводные концы, заточки в корпусе статора и др.), а поверхность выводных концов покрывается вазелиновым маслом.

Ориентировочные режимы пропитки и сушки всыпных обмоток в зависимости от класса изоляции, марки лака и температуры сушильной печи приведены в табл. 16. Окончательные режимы отрабатываются и уточняются на опытных образцах.

Качество пропитки и сушки обмотки проверяется как внешним осмотром, так и замером сопротивления изоляции обмотки.

Обмотка не должна иметь мест, не заполненных лаком или эмалью. Не должно быть отлипа лака или эмали.

Сопротивление изоляции обмотки замеряется меггометром на напряжение 500 *в*. Ее величина по отношению к корпусу не должна быть менее 1 *Мом*.

Таблица 16

Наименование операций	Длительность операции, *ч*			
	Лак 447		Эмаль ГФ-95	
	Температура печи*			
	110° С	130 °С	110° С	130° С
Сушка предварительная (первая)	2	2	2	2
Первая пропитка	0,25	0,25	0,25	0,25
Стекание лака	0,25	0,25	0,25	0,25
Сушка после первой пропитки	10	8	12	8
Вторая пропитка	0,1	0,1	0,1	0,1
Стекание лака	0,25	0,25	0,25	0,25
Сушка после второй пропитки	11	9	14	10
Лакировка (покрытие эмалью)	Не нормируется			
Окончательная сушка после лакировки (покрытия эмалью):				
ГФ-92-ХС	4**			
ГФ-92-ГС	5	—	5	—

* Допускается колебание температуры от + 10 до — 5° С.

** Продолжительность операции указана при воздушной сушке при температуре 20° С. При сушке в печи при температуре 60—80° С, время сушки сокращается до 2 *ч*.

2. РЕМОНТ ОБМОТОК С ГИЛЬЗОВОЙ (КОМБИНИРОВАННОЙ) ИЗОЛЯЦИЕЙ

Общие сведения. В крупных синхронных и асинхронных машинах старых выпусков применялась гильзовая изоляция обмоток статора.

В настоящее время гильзовую изоляцию почти полностью вытеснила непрерывная компаундированная изоляция. Однако некоторые, особенно зарубежные электромашиностроительные фирмы, до сего времени продолжают выпускать электрические машины с гильзовой изоляцией обмоток статора.

На наших промышленных предприятиях и электростанциях эксплуатируется очень большое количество электродвигателей и генераторов, имеющих гильзовую изоляцию обмоток. Поэтому вопрос их ремонта достаточно актуален.

Гильзовая изоляция носит также название смешанной или комбинированной, так как изоляция катушек в пазовой и лобовой частях отличаются друг от друга.

Общая корпусная изоляция пазовой части представляет собой плотно накатанную, опрессованную и запеченную гильзу из микафолия, слюдинитофолия или формовочного миканита, защищенную слоем электрокартона толщиной 0,1—0,2 *мм*. Толщина гильзы определяется главным образом номинальным напряжением электродвигателя или генератора. Однако при одинаковом рабочем напряжении гильзы обмоток крупных электрических машин, имеющих большую длину активной стали, несколько толще, чем у машин со сравнительно небольшой длиной активной стали.

Это объясняется не только стремлением обеспечить более высокую надежность ответственных дорогостоящих машин (турбогенераторов, гидрогенераторов), но и повышенными механическими напряжениями, возникающими при укладке катушек с длинными гильзами.

Общая изоляция лобовых частей катушек выполняется из нескольких слоев микаленты и лакоткани. Число этих слоев зависит от номинального напряжения машины. Поверх общей изоляции на лобовую часть накладывается защитный слой хлопчатобумажной, стеклянной или асбестовой ленты.

Проводниковая и витковая изоляция катушек определяется не только номинальным напряжением, но и дополнительными требованиями в части теплостойкости обмоток. В зависимости от этих требований применяются обмоточные провода с хлопчатобумажной изоляцией (марки ПБД), асбестовой или стекловолокнистой изоляцией (марок ПДА или ПСД).

Витковая изоляция катушек выполняется миканитовыми или слюдинитовыми прокладками либо микалентой, накладываемой на каждый виток или через виток.

Крайне уязвимым участком гильзовой изоляции является место стыка пазовой и лобовой частей изоляции катушек.

Это ослабленное по своим изоляционным качествам место находится вблизи от активной стали статора и нажимных пальцев и подвергается значительным деформациям как при укладке катушек в пазы, так и при электродинамических усилиях в лобовых частях обмоток, имеющих место при эксплуатации электрической машины.

Поэтому данному узлу изоляции придается особое внимание и от качества его выполнения зависит надежность всей изоляции.

В первоначальных конструкциях место сопряжения выполнялось способом «прямого конуса», при котором гильза срезается на конус и затем производится наложение слоев микаленты и лакоткани уступами (рис. 15).

При этом исполнении, даже при значительных вылетах прямолинейной части катушек от активной стали, может иметь место перекрытие по поверхности срезанного конуса гильзы.

Более совершенным является применяемый в настоящее время способ сопряжения «обратным конусом» (рис. 16).

При одинаковых расстояниях конца гильзы от активной стали путь разряда при обратном конусе примерно в 1,5 раза длиннее, чем при прямом.

Гильзовая изоляция имеет ряд существенных недостатков:

1) жесткость и хрупкость изоляции катушек, затрудняющие их укладку в пазы, так как при этом неизбежна деформация изоляции (особенно при укладке последних, «замковых катушек» двухслойных обмоток);

2) утолщение в местах переходов от пазовой к лобовой части катушек, создающее дополнительную трудность при их укладке;

3) разбухание гильз в пазах и вентиляционных каналах после небольшого времени работы машины, затрудняющее демонтаж катушек. Нужно учитывать, что при двухслойной обмотке для замены одной поврежденной катушки приходится извлекать из пазов все катушки в пределах шага. Помимо того, при разбухании гильзы, внутри нее образуются воздушные включения, снижающие электрическую прочность изоляции;

4) быстрое пересыхание лакоткани в лобовых частях, что резко снижает динамическую устойчивость всей обмотки.

Несмотря на то что гильза выполняется из микафолия или миканита, т. е. из материалов, относящихся по своей теплостойкости к классу В, описанная выше изоляция катушек в целом должна быть отнесена к классу А из-за применения лакоткани для изоляции лобовых частей.

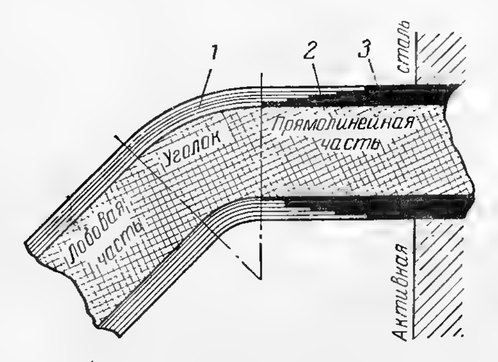


Рис. 15. Сопряжение по способу «прямого конуса».

1 — слои микаленты и лакоткани; *2* — столбик меди; *3* — микафолиевая гильза.

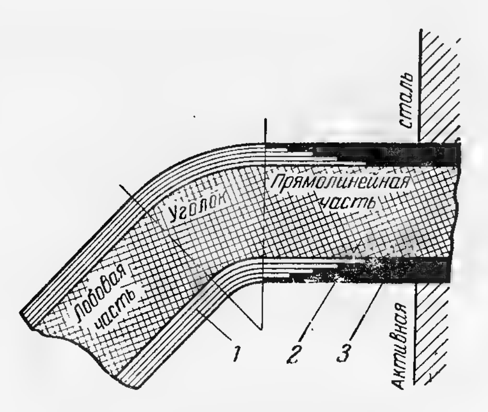


Рис. 16. Сопряжение по способу «обратного конуса».

1 — слои микаленты и лакоткани; *2* — столбик меди; *3* — микафолиевая гильза.

Однако имеет место и такое исполнение, когда витковая и общая изоляция лобовых частей выполняется только микалентой. В этом случае изоляция катушек относится к классу В.

К числу достоинств обмоток с гильзовой изоляцией следует отнести то, что ее сравнительно легко можно изготовить на месте ремонта машины, в то время как изготовление обмоток с компаундированной изоляцией возможно только в условиях электромашиностроительного завода. Толщина пазовой изоляции для одного и того же напряжения при гильзовом исполнении меньше, чем при компаундированной изоляции, что, естественно, повышает коэффициент заполнения паза медью.

Известны случаи, когда переход с непрерывной изоляции на гильзовую позволил увеличить сечение меди и тем самым повысить мощность машины, и наоборот, замена гильзовой изоляции непрерывной повлекла за собой снижение номинальной мощности.

В табл. 17 приведено типовое исполнение изоляции и расчет размеров катушек в пазовой и лобовой частях обмотки, а в табл. 18 — исполнение витковой изоляции и зависимости от мощности, рабочего напряжения и класса нагревостойкости электрических машин.

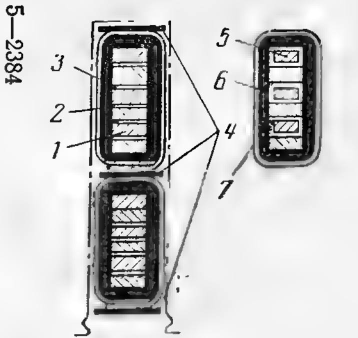
При ремонте обмоток желательно сохранить конструкцию и толщину изоляции катушек на уровне заводского исполнения, что обеспечит идентичность размеров до и после ремонта и тем самым не создаст затруднений при укладке обмотки в пазы.

Возникающее при этом естественное стремление к уменьшению толщины изоляции, если оно недостаточно продумано и не учитывает многолетний опыт изготовления, эксплуатации и ремонта электрических машин, может повлечь за собой снижение эксплуатационной надежности электродвигателя или генератора.

Эти соображения ни в коей мере не должны препятствовать использованию при ремонте современных прогрессивных электроизоляционных материалов, превышающих по своей электрической прочности и теплостойкости материалы, примененные в заводском исполнении.

Более того, применение таких материалов открывает возможность к увеличению номинальной мощности ремонтируемых машин, к повышению их эксплуатационной надежности.

Таблица 17



Гильзовая изоляция статорных обмоток машин переменного тока напряжением от 550 до 6 300 *в* нормального исполнения

№ позиции	Наименование	Толщина материала, *мм*	Число слоев	Двусторонняя толщина изоляции, *мм*											
				По ширине при числе проводников в горизонтальном ряду		По высоте при числе витков в катушке									
				1	2	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Пазовая часть														
	Витковая изоляция														
1	Миканитовые прокладки для 6 300 *в*	0,20	—	—	—	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8
	Разбухание витковой изоляции	—	—	0,1	0,2	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5

Продолжение табл. 17

№ позиции	Наименование	Толщина материала, *мм*	Число слоев	Двусторонняя толщина изоляции, *мм*											
				По ширине при числе проводников в горизонтальном ряду		По высоте при числе витков в катушке									
				1	2	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Корпусная изоляция														
2	Микафолиевая гильза:														
	для 550 *в*	0,15	—	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	3 150 *в*	0,15	—	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
	6 300 *в*	0,25	—	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
	Всего на катушку для:														
	550 *в*	—	—	1,6	1,7	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0
	3 150 *в*	—	—	2,6	2,7	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9	4,0
3	Электрокартон — проходная коробочка	0,30	—	0,6	0,6	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
4	Электрокартон — прокладки	0,30—0,50	—	—	—	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
	Зазор на укладку	—	—	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	Всего на паз для:														
	550 *в*	—	—	2,4	2,5	8,3	8,5	8,7	8,9	9,1	9,3	9,5	9,7	9,9	10,1
	3 150 *в*	—	—	3,4	3,5	10,3	10,5	10,7	10,9	11,1	11,3	11,5	11,7	11,9	12,1
	6 300 *в*	—	—	5,4	5,5	16,3	16,9	17,5	18,1	18,7	19,3	19,9	20,5	21,1	21,7

Продолжение табл. 17

№ позиции	Наименование	Толщина материала, *мм*	Число слоев	Двусторонняя толщина изоляции, *мм*: По ширине при числе проводников в горизонтальном ряду		По высоте при числе витков в катушке									
				1	2	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Лобовая часть														
	Витковая изоляция														
5	Хлопчатобумажная или стеклянная лента вполнахлеста через виток только для 6 300 *в*	0,15	1	0,3	0,3	0,9	1,2	1,2	1,5	1,5	1,8	1,8	2,1	2,1	2,4
	Разбухание витковой изоляции	—	—	1,0	1,5	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0
6	*Корпусная изоляция*														
	Лакоткань или стеклянная лента вполнахлеста для:														
	550 *в*	0,20	1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
	3 150 *в*	0,20	3	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
7	6 300 *в*	0,20	5	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
	Хлопчатобумажная лента вполнахлеста	0,20	1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
	Всего на катушку для:														
	550 *в*	—	—	2,6	3,1	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,2	4,4	4,6
	3 150 *в*	—	—	4,2	4,7	4,4	4,6	4,8	5,0	5,2	5,4	5,6	5,8	6,0	6,2
	6 300 *в*	—	—	6,1	6,6	6,9	7,4	7,6	8,1	8,3	8,8	9,0	9,5	9,7	10,2

Таблица 18

№ п/п.	Мощность, напряжение и класс изоляции машины	Витковая изоляция
1	Машины мощностью до 300 *квт* напряжением до 550 *в* класса изоляции А	Провод марки ПБД или голый провод, изолированный хлопчатобумажной лентой. В головках прокладки из электрокартона
2	Машины мощностью от 300 *квт* до 1 000 *квт* напряжением до 3 150 *в* класса изоляции А	Провод марки ПБД. В пазовой части прокладка между витками из электрокартона толщиной 0,2—0,5 *мм*. В лобовой части через виток лакоткань или стеклоткань — один слой
3	Машины мощностью от 300 *квт* до 1 000 *квт* напряжением до 3 150 *в* класса изоляции Е	а) Провод марки ПБД. В пазовой части прокладка из пленкоэлектрокартона. В лобовой части через виток синтолента — один слой б) Провод марки ПБД. По всему контуру через виток синтолента — один слой в) Голый провод. Каждый виток по всему контуру изолирован синтолентой — один слой
4	Машины мощностью до 1 000 *квт* напряжением до 6 300 *в* класса изоляции В	а) Провод марки ПДА или ПСД. В пазовой части прокладки из гибкого черного миканита толщиной 0,2—0,5 *мм*. В лобовой части через виток черная микалента — один слой б) Провод марки ПДА или ПСД. По всему контуру через виток черная микалента — один слой в) Голый провод. Каждый виток по всему контуру изолирован черной микалентой — один слой
5	Машины мощностью от 1 000 *квт* до 3 000 *квт* напряжением до 6 300 *в* (усиленная изоляция) класса изоляции В	а) Провод марки ПДА или ПСД. Каждый виток по всему контуру изолирован черной микалентой — один слой б) Голый провод. Каждый виток по всему контуру изолирован черной микалентой — один слой и стеклолентой — один слой
6	Наиболее ответственные машины мощностью свыше 3 000 *квт*, напряжением до 6 300 *в* (включая турбо и гидрогенераторы) класса изоляции В	а) Провод марки ПДА или ПСД. Каждый виток изолирован: в пазовой части черной микалентой — один слой и прокладками из гибкого черного миканита толщиной 0,3 *мм*, в лобовой части черной микалентой — один слой и черным микашелком — один

№ п/п.	Мощность, напряжение и класс изоляции машины	Внтковая изоляция
		слой или двумя слоями черной микаленты б) Провод марки ПДА или ПСД. Каждый виток по всему контуру изолирован черной микалентой — два слоя в) Голый провод. Каждый виток по всему контуру изолирован черной микалентой — один слой и черным микашелком — один слой
7	Машины мощностью до 1 000 *квт* напряжением до 6 300 *в* класса изоляции F	Провод марки ПДА или ПСД. В пазовой части прокладка из светлого гибкого миканита. В лобовой части через виток светлая микалента — один слой
8	Машины мощностью от 1 000 *квт* до 3 000 *квт* напряжением 6 300 *в* (усиленная изоляция) класса изоляции F	Провод марки ПДА или ПСД. Каждый виток по всему контуру изолирован светлой микалентой — один слой
9	Наиболее ответственные машины мощностью свыше 3 000 *квт* напряжением до 6 300 *в* (включая турбо и гидрогенераторы) класса изоляции F	Так же как п. 6, но с применением изоляционных материалов, изготовленных на глифтале-масляных лаках — светлой микаленты, светлого микашелка и светлого миканита
10	Машины мощностью до 1 000 *квт* напряжением до 6 300 *в* класса изоляции H	а) Провод марки ПСДК. В пазовой части прокладка из гибкого кремнийорганического стекломиканита. В лобовой части через виток кремнийорганическая стекломикалента — один слой б) Провод марки ПСДК. Каждый виток по всему контуру изолирован кремнийорганической стекломикалентой — один слой в) Голый провод. Каждый виток по всему контуру изолирован стеклолентой, пропитанной кремнийорганическим лаком — один слой и через виток кремнийорганической стекломикалентой — один слой

№ п/п.	Мощность, напряжение и класс изоляции машины	Витковая изоляция
11	Машины мощностью от 1 000 *квт* до 3 000 *квт* напряжением до 6 300 *в* (усиленная изоляция) класса изоляции Н	Так же как п. 5, но с применением провода марки ПСДК и изоляционных материалов, изготовленных на кремнийорганических лаках
12	Наиболее ответственные машины мощностью свыше 3 000 *квт* напряжением до 6 300 *в* (включая турбо- и гидрогенераторы) класса изоляции Н	Так же как п. 6, но с применением провода марки ПСДК и изоляционных материалов, изготовленных на кремнийорганических лаках
13	Машины мощностью до 300 *квт* напряжением до 6 300 *в* класса изоляции В. Двухстолбиковое исполнение	*Продольная кладка витков* Витковая изоляция, как в п. 4. Изоляция между столбиками: а) В пазовой части прокладки Z-образной формы из гибкого черного миканита толщиной 0,4—0,5 *мм*. В лобовой части изолировка одного из столбиков черной микалентой — один слой б) Изолировка одного или двух столбиков по всему контуру черной микалентой — один слой *Поперечная кладка витков* Провод марки ПДА или ПСД. В пазовой части между каждыми двумя витками по высоте прокладки из гибкого черного миканита толщиной 0,3 *мм*. В лобовой части каждый виток изолирован черной микалентой — один слой. Переходы в лобовой части изолированы черным микашелком — один слой и прокладками из гибкого черного миканита толщиной 0,3 *мм*

Ниже рассматривается применение гильзовой изоляции для случаев ремонта двухслойных обмоток с изготовлением катушек из нового обмоточного провода и с использованием старого провода.

РЕМОНТ С ПРИМЕНЕНИЕМ НОВОГО ПРОВОДА

К такому способу изготовления обмотки прибегают в тех случаях, когда использовать старый провод с поврежденной проводниковой изоляцией невозможно или когда по условиям эксплуатации ремонтируемая машина не может быть остановлена на длительный срок. В последнем случае обмотка изготовляется заранее и машина останавливается только на время, необходимое для замены обмотки.

Первоначальной стадией технической разработки, которая должна предшествовать ремонту, является снятие всех конструктивных размеров статора и определение обмоточных данных электродвигателя.

Вслед за тем производят выбор марки и размеров обмоточного провода, изоляции катушек в пазовой и лобовых частях, исходя из существующей конструкции обмотки и сравнивая ее с принятой в настоящее время. Не всегда можно полностью повторить заводское исполнение обмотки, так как провода, применяемые в отечественных машинах ранних выпусков, а также в машинах, изготовленных заграничными фирмами, могут быть не охваченными нашими отечественными действующими стандартами.

Следует также учитывать, что толщина гильзы, применяемая отечественными электромашиностроительными заводами, отличается от принятой некоторыми заграничными фирмами (см. табл. 19).

Таблица 19

Наименование завода-изготовителя	Двусторонняя толщина гильзы, *мм*, при номинальном напряжении	
	3—3,3 *кв*	6—6,6 *кв*
Отечественные заводы	2,5—4	5—7
Фирма АЕГ	2—4,4	3,2—5,7
Фирма МВ	5	6

На основании снятых геометрических размеров статора, обмоточных данных машины и выбранной изоляции производится определение размеров катушки (рис. 17).

Исходные данные

$L_р$ — длина изолированной катушки до ремонта;

$D_с$ — диаметр расточки статора;

$L_{ст}$ — длина стали статора, включая радиальные каналы;

z — число пазов статора;

H — полная высота паза;

$y_п$ — шаг катушки;

$h_{в.и}$ — размер по высоте одного витка катушки в лобовой части, включая постоянную затяжку витка;

$H_{с.п}$ — размер неизолированной катушки в пазовой части по высоте;

$B_{с.л}$ — то же по ширине;

$H_{с.л}$ — размер неизолированной катушки в лобовой части по высоте;

$B_{с.л}$ — то же по ширине;

$i_п$ — односторонняя толщина общей изоляции в пазовой части, включая постоянные обвертки и обклейки;

$i_л$ — то же в лобовой части;

$H_{к.п}=H_{с.п}+2i_п$ — размер изолированной катушки в пазовой части по высоте;

$B_{к.п}=B_{с.п}+2i_п$ — то же по ширине;

$H_{к.л}=H_{с.л}+2i_л$ — размер изолированной катушки в лобовой части по высоте;

$B_{к.л}=B_{с.л}+2i_л$ — то же по ширине;

$\Delta_н$ — толщина прокладок на дне паза;

$\Delta_{ср}$ — то же между сторонами катушек в пазу;

$\Delta_{кр}$ — толщина пазовой коробки;

$a_к$ — длина вылетов прямолинейных частей изолированной катушки от стали статора.

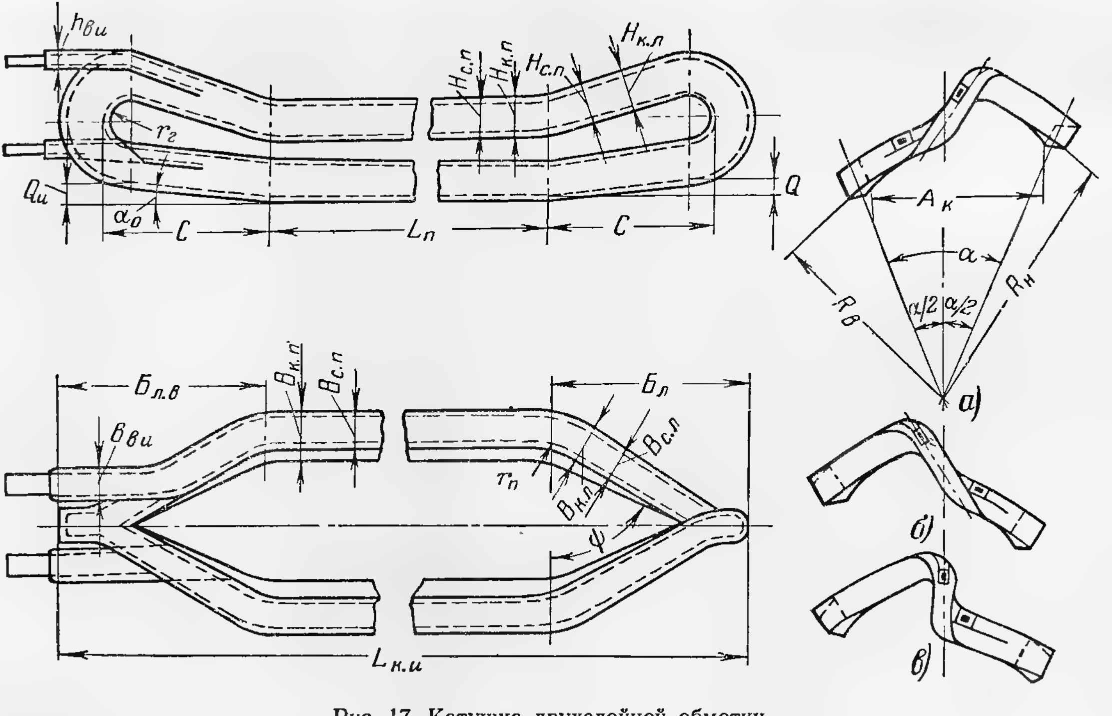


Рис. 17. Катушка двухслойной обмотки.

а и *б* — варианты растяжек катушки; *в* — прямая головка.

Минимально допустимые вылеты для обмоток электрических машин напряжением:

до 550 *в*	20 *мм*
до 3 300 *в*	40 *мм*
до 6 600 *в*	65 *мм*

$r_г$ — радиус закругления в головке (петле) неизолированной катушки. Рекомендуемая величина 15 *мм*;

$r_п$ — то же в углу перехода. Рекомендуемая величина 25 *мм*;

α_0 — угол радиального отгиба лобовых частей неизолированной катушки. Рекомендуемая величина в пределах 6 — 8°.

Определение размеров катушки

$L_п = L_{ст} + 2a_к$ — длина прямолинейной части катушки;

$\alpha = \frac{360 y_п}{z}$ — центральный угол между прямолинейными сторонами катушек;

$R_в = 0{,}5D_с + (H + i_п) - (\Delta_и + \Delta_{кр} + \Delta_{ср} + 2H_{к.п})$ — внутренний (меньший) радиус расположения в пазу верхней стороны неизолированной катушки;

$R_н = R_в + H_{к.п} + \Delta_{ср}$ — то же нижней стороны;

$r_{ср} = r_п + 0{,}5B_{с.л}$ — радиус закругления угла перехода от прямолинейной к лобовой части неизолированной катушки;

$h_п = H_{с.л} - h_{в.и}$ — толщина головки неизолированной катушки со стороны выводов;

$$f' = \frac{1\,000 \cdot 0{,}5\,(L_р - L_п - H_{к.л} - h_п)}{\alpha\,(R_в + R_н)}$$

$$f'' = \frac{100 r_{ср}}{\alpha\,(R_в + R_н)}$$

— вспомогательные расчетные величины, необходимые для определения последующих размеров катушки;

ψ — угол перехода от прямолинейной к лобовой части неизолированной катушки со стороны выводов. Величина ψ определяется в зависимости от f' и f'' по табл. 20;

$$C = \left[\left(\frac{1}{\sin\psi} - 1\right) r_{ср} + \frac{R + R_н}{229{,}2}\,\alpha\right] \operatorname{tg}\psi$$

Таблица 20

f'	f'' 0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5
2,0	24,0	20,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2,5	29,8	26,8	22,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3,0	34,6	32,0	29,5	25,0	20,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3,5	39,0	36,9	34,2	31,4	28,0	23,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4,0	43,0	41,0	38,8	36,8	34,0	30,0	25,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4,5	46,4	44,7	42,2	40,4	38,5	36,8	33,5	29,4	22,4	—	—	—	—	—	—	—
5,0	49,3	48,0	46,7	45,5	44,0	41,6	39,7	37,0	32,7	26,7	—	—	—	—	—	—
5,5	52,0	51,0	49,5	49,0	48,0	46,0	44,2	42,3	39,6	36,3	31,6	22,0	—	—	—	—
6,0	54,5	53,5	52,6	51,8	51,0	49,5	48,3	51,7	45,0	42,6	40,0	36,0	30,0	—	—	—
6,5	56,6	56,0	55	54,5	53,7	52,5	51,7	50,2	49,2	47,6	46,0	43,2	40,0	35,6	—	—
7,0	58,4	57,9	57,0	56,5	56,0	55,0	54,5	53,5	52,5	51,3	50,0	48,3	46,8	44,4	41,0	36,0
7,5	61,0	60,0	59,2	58,6	58,0	57,3	56,6	55,1	55,3	54,5	53,4	52,5	51,0	49,6	48,0	45,6
8,0	—	—	61,0	60,8	60,0	59,3	58,8	58,4	57,8	57,0	56,5	55,5	54,7	53,6	52,3	30,8
8,5	—	—	—	—	—	—	—	60,3	59,7	59,0	58,5	57,7	57,0	56,5	55,6	54,5
9,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	61,0	60,8	60,0	59,5	59,0	58,4	57,4
9,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	61,0	60,5	59,7

429—1

— расстояние от конца прямолинейной части до внутренней стенки петли неизолированной катушки;

$$m = \frac{6,28 R_в \sin\psi}{z} - (B_{к.л} + 0,6 i_л)$$

— наименьший (в верхней части плоскости обмотки) зазор между лобовыми частями смежных изолированных катушек после укладки в статор.

Минимально допустимые зазоры для обмоток электрических машин напряжением:

до 550 *в* . . . . 4,0—4,5 *мм*
до 3 300 *в* . . . . 4,5—5,0 *мм*
до 6 600 *в* . . . . 5,0—5,5 *мм*

Если полученные значения m меньше допустимых, то следует изменить размеры ψ, C и $a_к$:

$Б_{л.в} = C + h_п + i_л$ — длина лобовой части изолированной катушки со стороны выводов;

$Б_л = C + H_{с.л} + i_л$ — то же со стороны, противоположной выводам;

$L_{к.и} = L_п + Б_{л.в} + Б_л$ — полная длина изолированной катушки;

$Q = (C - r_г) : \operatorname{tg} \alpha_0$ — радиальный отгиб лобовых частей неизолированной катушки;

$$Q_и = (H - i_л) - (\Delta_н + \Delta_{кр} + \Delta_{ср} + 2H_{к.п}) + Q - \frac{i_л}{\cos\alpha_0}$$

— радиальный отгиб лобовой части изолированной катушки;

$$Г_р = Q_и + \frac{H_{к.л} + r_г}{\cos\alpha_0} + r_г + H_{к.л}$$

— радиальное расстояние наиболее удаленной точки головки изолированной катушки от расточки статора со стороны, противоположной выводам;

$$A_к = \sqrt{R_в^2 + R_н^2 - 2R_н R_в \cos(\alpha - 2\gamma)}$$

— размер катушки, необходимый для наладки растяжного станка при изготовлении катушки. Угол γ определяется из соотношения

$$\operatorname{tg}\gamma = \frac{B_{с.л}}{2R_н};$$

$$l_{ср} = 2L_п + \frac{R_н \alpha}{28,6 \cos\psi} +$$

429—2

$$+r_{ср}\left[6{,}3+0{,}07\psi-4\frac{(1-\sin\psi)}{\cos\psi}\right]+$$

$$+(r_г+0{,}5H_{с.п})\left(6{,}28-\frac{2}{\cos\psi}\right)$$

— средняя длина витка.

Технологический процесс изготовления двухслойных катушек с гильзовой изоляцией слагается из операций:

Намотка заготовки (лодочки). Лодочка является заготовкой, из которой при дальнейших операциях формуется и полностью изготовляется катушка.

От точности изготовления лодочки (рис. 18) в большой степени зависит качество самой катушки.

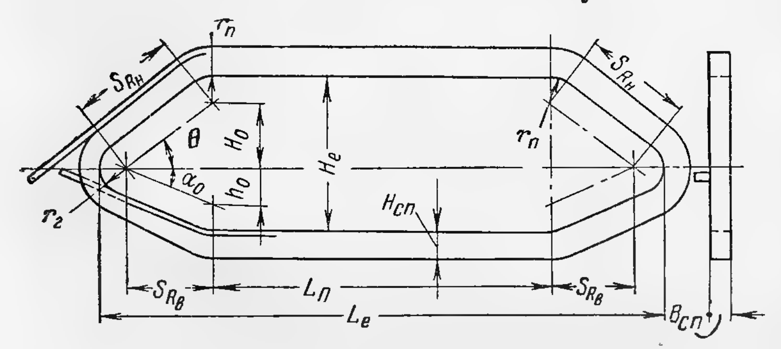


Рис. 18. Форма и размеры «лодочки».

Расчет размеров лодочки в зависимости от размеров катушки, для которой она предназначается, приведен в табл. 21.

Намотка лодочек производится на намоточных станках, описание которых было приведено ранее.

Контуры и размеры шаблона для намотки лодочки полностью определяются размерами самой лодочки.

Чтобы обеспечить правильную форму и компактность лодочки, провод из которого она наматывается, должен все время находиться в натянутом состоянии. Для этого провод предварительно наматывается правильными рядами на барабан, имеющий тормозное устройство. Кроме того, для предотвращения скручивания провод проходит через «глазок», представляющий собою текстолитовую пластину толщиной 10—15 *мм,* в которой точно по

Таблица 21

Наименование величины	Обозначение	Расчетные формулы
Выпрямленная длина дуги лобовых частей неизолированной катушки по средней линии для радиуса $R_н$	$S_{R_н}$	$S_{R_н} = \frac{(R_н + 0{,}5H_{с.л})\alpha}{4\beta_1} + \frac{r_{ср}\beta_2}{4} - \frac{(r_г + 0{,}5H_{с.л})(6{,}28 - \beta_3)}{4}$
То же для радиусов $R_в$	$S_{R_в}$	$S_{R_в} = S_{R_н} - \frac{(R_н - R_в)\alpha}{4\beta_1}$
Вспомогательная величина	$\cos\theta$, $\operatorname{tg}\theta$, $\cos\alpha_0$, $\operatorname{tg}\alpha_0$	$\cos\theta = S_{R_в} : S_{R_н}$ По тригонометрическим таблицам
Размеры лодочки	H_0	$S_{R_в}\operatorname{tg}\theta$
	h_0	$S_{R_в}\operatorname{tg}\alpha_0$
	He	$H_0 + h_0 + 2r_г$
	Le	$L_п + 2S_{R_в} + 2r_г$

Примечание. Все обозначения размеров аналогичны приведенным при расчете размерам катушки.

размеру провода вырезано отверстие (устанавливается между барабаном и шаблоном).

При намотке провода на шаблон, каждый виток его подбивается по форме шаблона, чем достигается плотность всей лодочки.

Если по конструктивному исполнению катушки предусмотрена дополнительная изоляция провода марки ПБД микалентой, следует провод заранее пропитать масляно-битумным лаком 447. Часто эта дополнительная изоляция предусматривается только в лобовых частях. В этих случаях необходимо ее располагать по высоте столбика ступенькой, со сдвигом в 10—20 *мм*, чтобы избежать значительных местных утолщений изоляции.

Дополнительная изоляция может предусматриваться также в виде миканитовых прокладок.

Во избежание повреждения этих прокладок при дальнейших операциях при намотке лодочки вместо них закладываются временные прокладки из электрокартона такой же толщины.

В процессе намотки необходимо следить за целостностью проводниковой и дополнительной микалентной изоляции, а также за правильностью перекроя микалентной изоляции.

При намотке лодочки выводные концы предусматриваются с припусками, выступающими за ее контур на 120—150 *мм*.

После проверки качества намотки и размеров лодочка плотно связывается в нескольких местах лентой или шпагатом, выводные концы очищаются от изоляции и лодочка снимается с шаблона.

Затем лодочка бандажируется стеклянной или хлопчатобумажной лентой по всему контуру. Лента накладывается в лобовой части в 1 слой вполнахлеста, а в пазовой части — вразбежку.

В процессе бандажировки лодочка сжимается по высоте струбцинами, а по ходу бандажировки с нее снимаются завязки, которыми она была скреплена перед снятием с шаблона.

Растяжка лодочки. Операция по растяжке лодочки имеет целью придать ей форму, близкую к катушке.

Следует выбрать один из двух вариантов направления растяжки, приведенных на рис. 17, где изображен вид на катушку со стороны схемы.

Если для ремонтируемой машины изготовляется не полный комплект, а только часть катушек, то вариант их растяжки безусловно должен совпадать с направлением растяжки остальных катушек.

При изготовлении всего комплекта катушек вариант растяжки безразличен, но все же предпочтительней выполнить его по заводскому исполнению, чтобы использовать без каких-либо переделок основные детали выводов и внутримашинных соединений.

Исходя из указанных соображений, следует выбрать и форму головки (петли) катушки.

Эти головки могут быть скошенными (рис. 17.*а* и *б*), когда ось головки расположена под некоторым углом

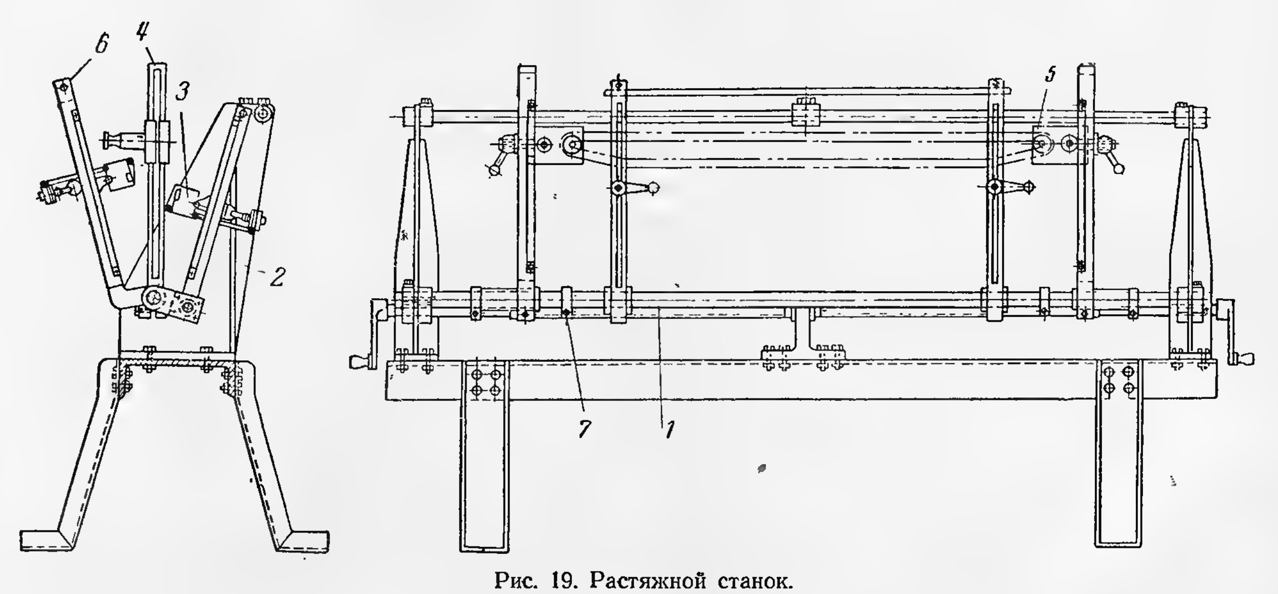


Рис. 19. Растяжной станок.

1 — вал; 2 — стойка; 3 — пазовые зажимы; 4 — головкодержатель; 5 — головка станка; 6 — поворотное плечо; 7 — стопорное кольцо.

к вертикальной оси катушки, или прямыми — при совпадении осей головки и катушки (рис. 17,*в*).

Растяжка лодочек производится на специальном станке (рис. 19).

Лодочка, заложенная в станок, растягивается вращением плеча *6* вокруг своей оси. При растяжке головкодержатели *4* сближаются.

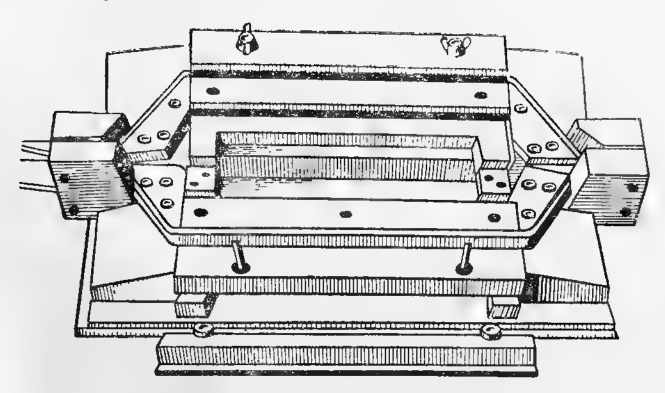


Рис. 20. Рихтовочный шаблон.

Передвижные стопорные кольца *7* закрепляются таким образом, чтобы ограничить движение головкодержателей *4* тогда, когда размеры $A_к$ и α растянутой лодочки достигнут требуемых величин.

После растяжки лодочка снимается со станка, проверяется целость изоляции и отсутствие смещенных витков, а также параллельность их расположения.

Все обнаруженные дефекты устраняются таким образом, чтобы не нарушить форму лодочки.

Однако растянутая лодочка не имеет еще окончательной формы катушки: лобовые части находятся в одной плоскости с пазовыми частями и не имеют нужных очертаний.

Для придания ей законченной формы применяется рихтовочный шаблон, с помощью которого лобовые части отгибаются в радиальном направлении и изгибаются по требуемой кривизне.

Этот шаблон (рис. 20) изготовляется из дерева твердых пород, должен с максимальной точностью соответствовать окончательной форме катушки.

Для формовки (рихтовки) лодочка закладывается в шаблон, и прямолинейные части ее зажимаются накладками. При закладке проверяется и при надобности корректируется угол разворота между собой прямолинейных частей катушек. Эта корректировка производится деревянными ключами в виде «вилок» (рис. 21), которые накладываются на прямолинейную часть лодочки.

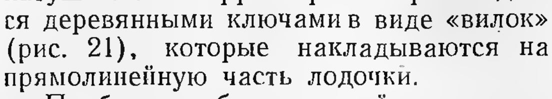


Рис. 21. Вилка для разворота сторон катушки.

Подбивка лобовых частей для придания им нужной формы производится деревянными молотками — киянками через фибровые или деревянные прокладки, предохраняющие изоляцию лобовых частей от повреждений.

Замена временных прокладок. После рихтовки с катушки снимается стягивающая ее лента и все временные прокладки между витками заменяются постоянными.

Эти прокладки должны быть шире провода, выступать на 0,3—0,5 *мм* с каждой стороны провода.

В случаях когда в лобовых частях применена микалента в качестве дополнительной изоляции, указанные прокладки должны перекрывать микалентную изоляцию.

После установки прокладок катушку следует вновь забандажировать хлопчатобумажной или стеклянной лентой, накладываемой вразбежку.

Для придания бо́льшей плотности при бандажировке столбик сжимается струбцинами.

Если пайка обмотки предусмотрена оловянистым припоем, следует снять изоляцию с концов катушек и облудить их на длине 100 *мм.*

Как правило, для полуды применяется припой ПОС-30, а в качестве флюса — канифоль. При полуде не допускаются наплывы припоя, так как это затруднит закладку концов катушек в соединительные хомутики. Наиболее эффективный способ полуды концов — погружение их в ванночку с расплавленным припоем.

Для обмоток, пайка которых предусмотрена серебряным, медно-фосфористым или другим тугоплавким припоем, следует ограничиться только зачисткой концов катушек от изоляции.

Сушка и пропитка неизолированных катушек. Сушке и пропитке должны подвергаться катушки вне зависимости от марки провода и электроизоляционных материалов.

Перед пропиткой катушки предварительно просушиваются в печи при температуре 105—110° С в течение 4—8 *ч* (в зависимости от ее размеров).

Для лучшего омывания теплым воздухом катушки размещаются в печи в вертикальном положении с зазором между соседними катушками в 10—15 *мм*.

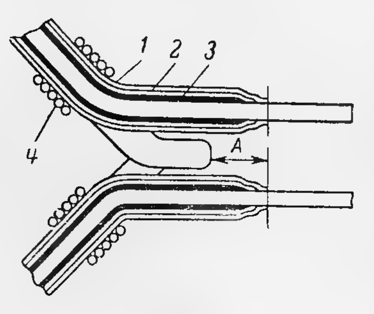


Рис. 22. Изоляция выводных концов.

1 — хлопчатобумажная или стеклянная лента; *2* — лакотканевая лента; *3* — микалента; *4* — шпагатный бандаж.

Пропитка в лаке производится путем погружения катушек, нагретых до температуры 60° С, на 15—20 *мин* в ванну с лаком.

По окончании пропитки, признаком чего служит прекращение выделения пузырьков воздуха из лака, катушки вынимаются из ванны и подвешиваются над ней за головки для стекания лака. Через 15—20 *мин* катушку перевешивают за противоположную головку и выдерживают в таком положении также в течение 15—20 *мин*.

Пропитанные катушки сушат в печи при температуре 105—110° С в течение 8—10 *ч*.

По окончании сушки катушки вынимают из печи, проверяют изоляцию на отсутствие повреждений в процессе загрузки и выгрузки катушек из печи и тряпкой, смоченной в бензине, смывают лак с выводных концов.

Изолировка выводных концов. Исполнение изоляции выводных концов приведено на рис. 22 и в таблице на стр. 84.

Изоляция выводного витка начинается с середины плеча лобовой части и доводится до полуженных участков выводных концов. Располагается изоляция уступами, со сдвигом слоев между собой в 10 *мм*. Поверх слоев микаленты и лакоткани накладывается защитный слой тафтяной ленты или стеклоленты (в один слой вполнахлеста), пропитанной лаком 447. Изолированные

выводные концы в месте их отгиба закрепляются бандажом из 10—12 витков шпагата диаметром 1,5—2,0 *мм*.

Рабочее напряжение, *в*	Расстояние *А*, *мм*	Число слоев изоляции		
		Микалента	Лакотканевая лента	Хлопчатобумажная или стеклянная лента
550	10	—	1	1
3 150	10	—	2	1
6 300	15	2	2	1

Опрессовка неизолированных катушек. Опрессовка прямолинейной части неизолированных катушек (опрессовка столбиков), производимая одновременно с их нагреванием, имеет целью уплотнить между собой отдельные провода и изоляцию, а также придать столбику монолитность и обеспечить требуемые размеры столбика.

Приспособлением для опрессовки и запечки являются прессформы.

На рис. 23 приведена конструкция прессформы с электрическим подогревом и воздушным охлаждением, получившая наибольшее распространение в ремонтной практике при небольшом количестве изготовляемых катушек.

Опрессовка и выпечка столбика, а также микафолиевой гильзы производятся в пространстве, ограниченном двумя боковыми планками *7* и двумя вкладышами *9* и *10*. Вкладыши *9* предназначены для опрессовки столбика, а вкладыши *10* — для опрессовки и выпечки гильзы. Размеры этих деталей в зависимости от размеров столбика и гильзы приведены на том же рис. 23.

Создание необходимого давления (25—35 *кГ/см*²) производится завертыванием болтов струбцин.

Эти струбцины, изготовляемые обычно из стали размером 50×50 или 60×60 *мм* и снабженные болтами М36, располагаются через 200—250 *мм* по длине прессформы. Каждая струбцина состоит из двух угольников. Один из них — неподвижный *2* — закрепляется на швеллере, другой — угольник *1* — съемный.

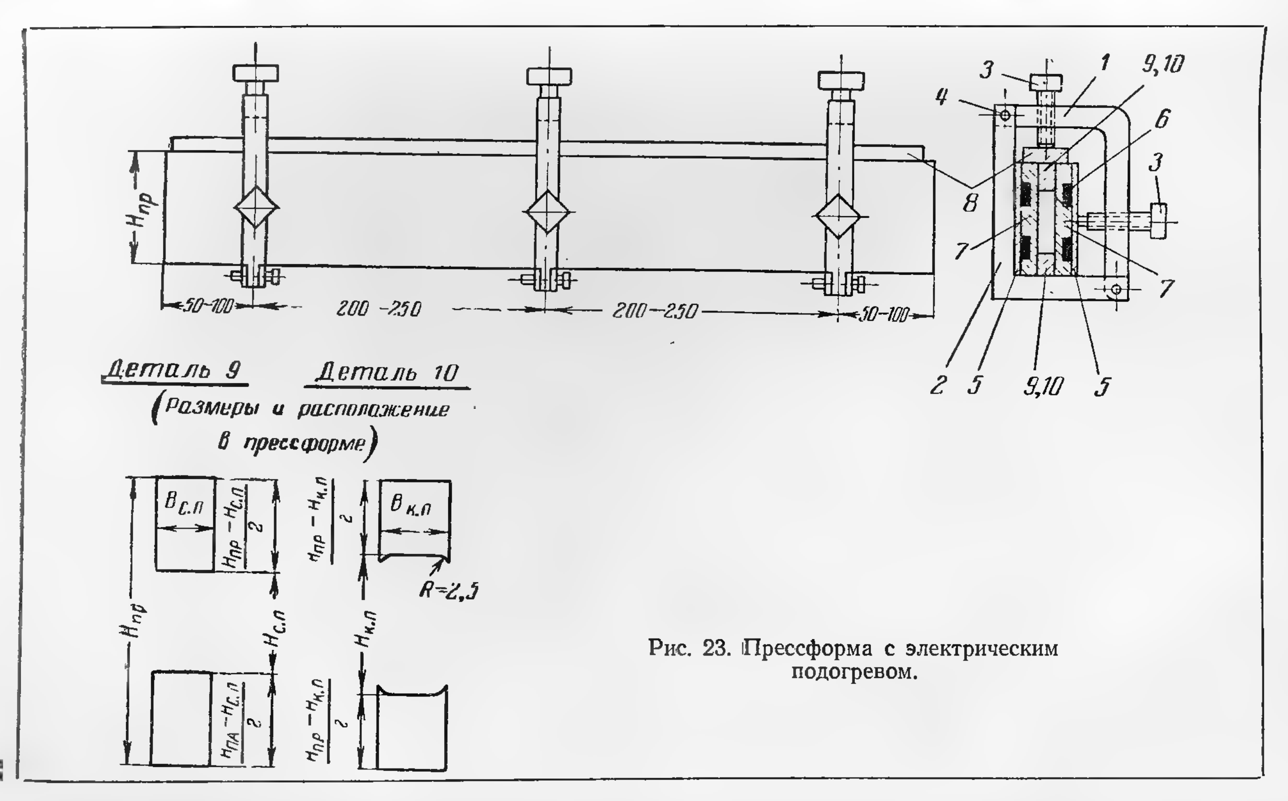


Рис. 23. Прессформа с электрическим подогревом.

Для закладки катушки в прессформу следует вынуть из гнезд штыри *4*, удалить угольник *1*, нажимную планку *8*, боковую планку *7*, примыкающую к болту, и верхний вкладыш *9*.

После закладки катушки снятые части прессформы в обратной последовательности устанавливаются на свои места.

Нагрев струбцин осуществляется нагревательными элементами *6*, закладываемыми в боковые планки *7*.

Нагреватель представляет собою пластину прокладочного миканита толщиной 1—1,5 *мм* или стальную пластину, обернутую асбестовой бумагой или асбестовой лентой, на которую спирально накладывается проволока из нихрома или фехраля круглого или прямоугольного сечения. Для изолировки нагревателя от корпуса прессформы поверх проволоки также накладывается асбестовая бумага или лента. Нагреватель защищается крышкой *5*.

Напряжение для питания прессформ U, исходя из условий безопасности работы на прессформах, не должно превышать 40 *в*.

Мощность, необходимая для нагревания прессформы, $P=(50-70)L$ *вт*, где L — длина прессформы, *см* (большие значения для длинных и массивных прессформ).

Ток в нагревателе равен:

$$I=\frac{P}{U},$$

где P — мощность нагревателя, *вт*.

Размеры проволоки составляют:

а) для круглой проволоки $d=0{,}25\sqrt[3]{I^2}$, *мм*;

б) для проволоки — ленты прямоугольного сечения

$$b=\frac{0{,}15I}{\sqrt{a}},$$

где b — ширина проволоки, *мм*;

a — толщина проволоки, *мм*.

Длина и вес проволоки определяются:

$$l=0{,}9q\frac{U}{I},\ м;$$

$$G=8lq\cdot 10^{-3}\ кг,$$

где q — сечение проволоки, *мм*².

При опрессовке столбика прямолинейная часть обертывается двумя слоями телефонной бумаги, припудренной тальком, катушка укладывается в прессформу, слегка затягиваются болты *3* струбцин и прессформа разогревается до 75—80° С при применении для катушек провода марки ПБД; до 100—110° С — при применении проводов марок ПСД и ПДА.

В процессе разогрева производят постепенную затяжку болтов струбцин, не прилагая при этом значительных усилий.

Затяжку болтов начинают с середины и продолжают в обе стороны к концам прессформы. При достижении указанных выше температур болты окончательно подтягиваются до такой степени, когда верхняя нажимная планка *8* вплотную ляжет на боковые планки *7*, а последние будут плотно прижаты к внутренним вкладышам *9*.

При изготовлении большого количества катушек или сжатых сроках ремонта ускорение процесса может быть достигнуто не только параллельной работой на нескольких прессформах, но и применением прессформ с паровым подогревом, который осуществляется путем пропускания пара по предусмотренным на то каналам в боковинах прессформ. Это оказывается эффективным потому, что по окончании опрессовки и запечки гильзы по этим же каналам пропускается вода, охлаждающая прессформу.

Вместо винтовых струбцин для обжатия прессформ может применяться пневматический или гидравлический привод.

Помимо значительного облегчения и ускорения работы при гидравлическом или пневматическом приводе можно сравнительно легко тарировать величину передаваемого на прессформы давления, что практически невозможно при пользовании болтовыми струбцинами. Между тем как чрезмерное, так и недостаточное давление при опрессовке катушек недопустимо. При перепрессовке возможно не только ослабление, но и повреждение изоляции. При недопрессовке катушки получаются недостаточно монолитными, могут содержать воздушные включения и излишки лака, что резко снижает их электрические и механические качества.

Изолировка уголков. Исполнение изоляции уголков приведено на рис. 24 и в нижеприведенной таблице.

Рабочее напряжение, *в*	Размеры, *мм*			Число слоев изоляции		
	А	*Б*	*В*	Микалента	Лакоткаиевая лента	Хлопчатобумажная или стеклолента
550	20	10	10	1	1	1
3 150	40	15	10	3	1	1
6 300	65	25	15	5	2	1

Наложение изоляции начинается с середины плеча лобовой части с заходом на прямолинейную часть. Располагается изоляция уступами, со сдвигом слоев между собой в 10 *мм*, чтобы образовать конус.

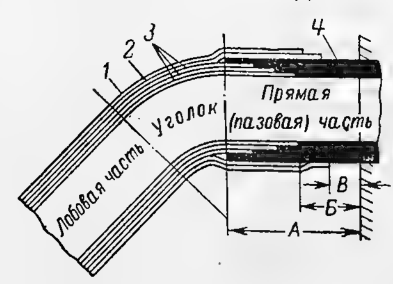


Рис. 24. Изоляция уголков.

1 — хлопчатобумажная или стеклянная лента; *2* — лакотканевая лента; *3* — микалента; *4* — микафолиевая гильза.

Поверх слоев микаленты и лакоткани накладывается временная хлопчатобумажная лента или стеклолента в один слой вполнахлеста. При укладке каждого слоя изоляции уголков необходимо добиваться максимальной плотности ее наложения.

Накатка, опрессовка и выпечка гильз. Помещение, где производятся наложение и выпечка гильзовой изоляции, должно содержаться в чистоте. Загрязнение изоляции пылью, особенно металлической и токопроводящей приводит к снижению качества и браку выпеченных гильз.

Опрессовка и запечка пазовой изоляции катушек производятся теми же прессформами (рис. 23), которыми опрессовывались неизолированные катушки. Однако вкладыши прессформ *9* заменяются вкладышами *10*.

Материалом для пазовой изоляции (гильзы) электрических машин напряжением 6,3 *кв* преимущественно служит микафолий марки ММГ (микафолий, изготовленный из слюды марки «мусковит» на глифталевом ла-

ке) или ММШ (как марки ММГ, но на щеллачном лаке). Для электрических машин напряжением ниже 6,3 *кв* применяется микафолий, изготовленный из флогопита марок МФГ или МФШ, имеющий пониженную электрическую прочность, но обладающий лучшей формуемостью, чем микафолий, изготовленный на мусковите.

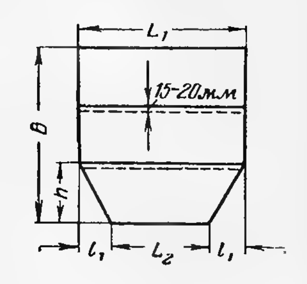


Рис. 25. Заготовка для гильз.

Для склейки между собой слоев гильзы при микафолии марок ММГ и МФГ применяется глифталевый лак 1155, а для микафолия марок ММШ и МФШ — шеллачный лак 30%-ной концентрации.

Из микафолия, поступающего обычно в рулонах, нарезаются заготовки. Для катушек, у которых сопряжение пазовой и лобовой частей изоляции выполняется обратным конусом, форма заготовок приведена на рис. 25.

Размеры заготовки:

L_2 — расстояние между концами первого внутреннего слоя микаленты изоляции уголков, *мм*;

L_1 — длина гильзы, *мм*;

l_1 — длина конуса, *мм*, равная $\frac{L_1 - L_2}{2}$;

B — ширина заготовки, *мм*, равная

$$2{,}5\,(H_{с.и} + B_{с.и} + 2i_г)\,\frac{i_г}{\delta_1},$$

где $H_{с.и}$ и $B_{с.и}$ — размеры неизолированной катушки по высоте и ширине, *мм*;

$i_г$ — толщина гильзы, *мм*;

δ_1 — толщина микафолия, *мм*;

$$h = 4n_г\,\frac{\delta_2}{\delta_1}\,(H_{с.и} + B_{с.и} + 2i_г),$$

где $n_г$ — число слоев микаленты под гильзой;

δ_2 — толщина микаленты, *мм*.

Когда ширина рулона меньше ширины заготовки, стыкуются между собой несколько полос. Стыковка производится с перекроем в 15—20 *мм* (рис. 25).

При изготовлении гильз из листового микафолия, когда размеры листа меньше размера L_1, также приходится стыковать листы между собой. Во избежание большого местного утолщения в месте стыковки сопряжение листов выполняется под углом, как это указано на рис. 26. Величина перекроя *a* равна 15—20 *мм*, а размер *c* равен 25 *n*, где *n* — число слоев микафолия в гильзе, равное 1,25 $\frac{i_г}{\delta_1}$.

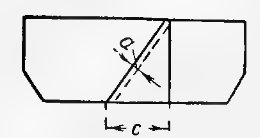


Рис. 26. Стыковка листов микафолия по длине.

Место перекроя листов склеивается в зависимости от вида микафолия шеллачным или глифталевым лаком.

Для накатки гильзы катушка устанавливается на подставку (рис. 27), а при небольших размерах гильзы — закрепляется в слесарных тисках (рис. 28).

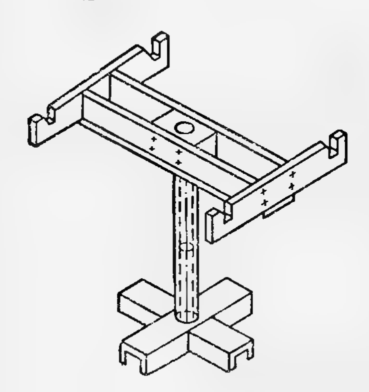


Рис. 27. Подставка для накатки гильз.

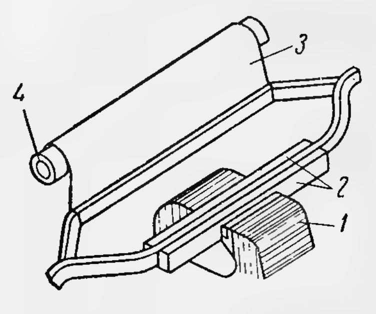


Рис. 28. Закрепление катушки в тисках.

1 — слесарные тиски; *2* — планки; *3* — лист микафолия; *4* — нагретая труба.

Перед накаткой для придания микафолию необходимой гибкости, его следует подогреть до температуры 70—80° С и промазать лаком, соответствующим марке микафолия.

Количество этого лака зависит от содержания клеящих в микафолии. При большом количестве клеящих («жирный» микафолий) промазку можно не делать или же делать ее минимальной.

При малом количестве клеющих («сухой» микафолий) промазку следует производить тонким слоем по всей поверхности.

При сопряжении изоляции «обратным конусом» на всю длину «конуса» прокладывают предохранительную полоску из одного слоя телефонной бумаги, выпуская ее за пределы гильзы на 15—20 *мм*. Эта прокладка предохраняет от затекания лака под слои микаленты при выдавливании лака в процессе опрессовки гильзы. По окончании выпечки выступающая часть прокладки срезается.

Накатка микафолия производится с помощью оправки — трубы диаметром 50—60 *мм* и длиной на 10—15 *мм* больше, чем длина заготовки.

Разогретая заготовка микафолия плотно накатывается на подогретую трубу. Свободный конец заготовки накладывается на изолируемую катушку таким образом, чтобы края заготовки с обеих сторон вплотную подходили к первому слою микаленты изоляции уголков, и плотно обертывается вокруг прямолинейной части катушки.

Обертывание производится при равномерном натягивании микафолия трубой.

Наложенный слой проглаживают тряпкой, после чего накладывают и приглаживают следующие слои. Для лучшей накатки можно применить проглаживание электрическим утюгом, разогретым до 100—120° С.

При намотке микафолия нельзя допускать перекосов заготовки микафолия. Каждая следующая заготовка подкладывается под край предыдущей на 15—20 *мм*.

После наложения всех слоев производится обкатка наложенного микафолия с целью максимального уплотнения слоев изоляции. Эту обкатку производят в рукавицах, плотно прижимая и проворачивая микафолий в направлении его наложения.

Поверх микафолия гильза обертывается двумя слоями электрокартона толщиной 0,1 *мм* с перекрытием на узкой стороне. Первый оборот электрокартона покрывается тем же лаком, на котором изготовлен микафолий. Второй слой электрокартона не лакируется, так как является временным и после выпечки гильзы снимается.

Поверх электрокартона гильза туго затягивается киперной лентой вразбежку и поступает на выпечку.

Катушка укладывается в прессформу (рис. 23), затягиваются болты *3* струбцин, и прессформа разогревается до 110—120° С при шеллачном микафолии и до 140—150° С при глифталевом микафолии.

В процессе разогрева производится постепенная затяжка болтов струбцин. Затяжку болтов начинают от середины и продолжают в обе стороны к концам прессформы.

При достижении указанных выше температур болты окончательно подтягиваются до такой степени, когда верхняя нажимная планка *8* вплотную ляжет на боковые планки *7*, а последние будут плотно прижаты к внутренним вкладышам *10*.

После окончательной затяжки болтов температура подогрева пресспланок увеличивается до 140—150° С при шеллачном и до 170—180° С при глифталевом микафолии. При указанной температуре изоляция выпекается в течение 30—60 *мин*. Точное время, необходимое для выпечки, устанавливается на опытных образцах отдельно для каждой партии микафолия. При отработке режима выпечки может быть несколько изменена также и температура выпечки. При выпечке опытных образцов проверяется и корректируется число слоев микафолия, необходимых для получения гильзы требуемой толщины. При расчете числа слоев принята усадка толщины микафолия при опрессовке в размере 25%. В зависимости от «жирности» микафолия степень усадки, а следовательно, и число слоев гильзы меняются.

Одним из признаков окончания выпечки изоляции является прекращение выделения лака с торцов гильзы.

По окончании выпечки нагреватели отключаются от сети и прессформа охлаждается.

Для ускорения охлаждения прессформы рекомендуется обдувать ее вентилятором или сжатым воздухом.

При охлаждении прессформ до 30—35° С катушка вынимается из прессформы, снимается временный (неприклеенный) слой электрокартона, гильза очищается от наплывов лака, и проверяются ее размеры по высоте и ширине с помощью штангенциркуля или предельными шаблонами.

Выпеченная гильза должна быть достаточно плотная. При простукивании гильзы не должно быть глухих звуков, свидетельствующих о недостаточной монолитности

гильзы или неполном прилегании ее к столбику меди. Выпеченная гильза не должна иметь продольных вмятин и складок длиной больше 100—120 *мм*. Складки по концам гильзы и складки с лопнувшими слоями, а также закусы на углах гильзы не допускаются.

При длительном хранении в надлежащих условиях гильза не должна распухать, расслаиваться или отставать от меди.

Перечисленные дефекты являются следствием неудовлетворительной накатки, недостаточной опрессовки или неправильного режима выпечки изоляции.

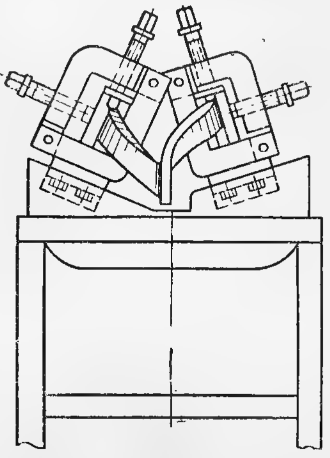


Рис. 29. Расположение прессформ при выпечке двух сторон катушек.

Указанным выше способом выпекается каждая в отдельности сторона катушки. Для ускорения рекомендуется изготовить два комплекта прессформ и производить выпечку гильз одновременно на двух сторонах катушки.

Чтобы не деформировать катушку, прессформы следует располагать соответственно центральному углу между прямолинейными сторонами катушек (рис. 29).

При небольшом расстоянии между сторонами катушек может оказаться невозможным или затруднительным расположение струбцины друг против друга. В этом случае они располагаются в шахматном порядке.

Для катушек с большим соотношением высоты и ширины гильзы (больше 6 : 1) для получения надежной гильзы приходится предварительно накатывать и выпекать на столбике два-три слоя микафолия, а затем поверх этих слоев накатывать и выпекать остальные слои микафолия.

Эта предварительная выпечка значительно увеличивает жесткость и плотность катушки и тем самым обеспечивает лучшую накатку и выпечку остальных слоев.

При толщине гильзы свыше 3 *мм* рекомендуется накатку и выпечку ее производить в два приема: выпечь гильзу, составляющую 60—70% от требуемой толщины, а затем остальные 30—40%.

Изолировка лобовых частей. Перед изолировкой лобовой части следует зачистить от наплывов лака ранее наложенную изоляцию уголка в месте сопряжения ее с изоляцией лобовой части и снять временный защитный слой хлопчатобумажной ленты. Укладка слоев изоляции ведется от середины плеча к петле и далее к другому плечу — до конуса на середине этого плеча. При «сухой» микаленте накладываемые слои слегка промазываются клеящим лаком БТ-95.

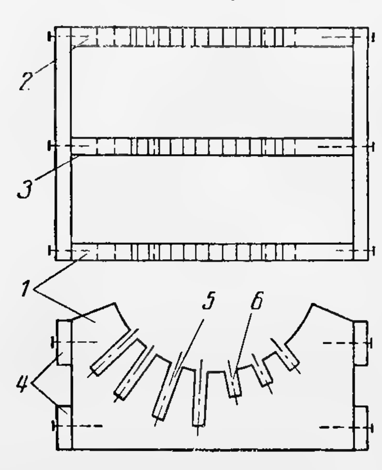


Рис. 30. Макет статора.

1 — передняя стенка; 2 — задняя стенка; 3 — промежуточная стенка; 4 — скрепляющая планка; 5 — пазы для укладки нижних сторон катушек (количество пазов — $y_п$); 6 — пазы для укладки верхних сторон катушек (количество пазов — $y_п+4$), где $y_п$ — шаг обмотки.

Последний слой лакоткани, а также защитный верхний слой пропитанной в лаке хлопчатобумажной ленты или стеклоленты накладывается на гильзу с заходом на 20—30 *мм*.

При наложении изоляции следует стремиться к максимально плотной затяжке каждого слоя, так как эта изоляция не прессуется и неплотность ее наложения ухудшает электроизоляционные качества обмотки.

Проверка и рихтовка лобовых частей на макете. Для полной уверенности в правильности геометрических размеров лобовых частей катушек, а также для возможности устранения некоторых незначительных отклонений от требуемой формы изготовляется специальный макет, повторяющий часть статора (рис. 30), в который укладываются изготовленные катушки. Положение катушек в макете имитирует их положение в пазах статора, и, добившись правильной укладки катушек в макет, можно

быть совершенно уверенным, что укладка катушек в пазы статора не встретит каких-либо серьезных затруднений.

Лобовые части уложенных катушек выправляют до получения одинаковой дистанции между головками, лобовыми дугами и однообразного отгиба лобовых частей в радиальном направлении.

Лакировка и сушка изоляции. Завершающей операцией изготовления катушек является лакировка и последующая сушка лобовых частей.

Лакировка производится двукратно покровным лаком 458 воздушной сушки. При возможности лакировку следует производить путем пульверизации раствора лака.

После первой лакировки лобовых частей катушки укладывают на стеллажи или подкладки таким образом, чтобы лобовые части со всех сторон омывались воздухом. Подсушивают их в течение 2—4 *ч*.

Затем производится вторичное покрытие лобовых частей лаком и сушка в течение 6—8 *ч* до полного прекращения отлипа лаковой пленки.

Испытание катушек. Изоляция изготовленных катушек должна быть испытана повышенным напряжением.

Изоляция гильз испытывается переменным током с частотой 50 *гц* в течение 1 *мин* напряжением:
13,5 *кв* — для обмоток напряжением 3,15 *кв* при толщине гильзы 1,25—2 *мм*;

Таблица 22

Вид витковой изоляции	Величина испытательного напряжения на виток, *в*
Обмоточный провод с изоляцией марок ПБД, ПДА и ПСД	200
То же и прокладка в пазовой части из электрокартона толщиной не меньше 0,2 *мм*	300
В лобовой части через виток хлопчатобумажная или лакотканевая лента в один слой вполнахлеста . .	500
То же и прокладка в пазовой части из миканита или слюдинита толщиной 0,13—0,17 *мм* в один слой вполнахлеста и хлопчатобумажной лентой впритык через виток	400
То же, но изоляция каждого витка хлопчатобумажной лентой	600

Таблица 23

Вид межстолбиковой изоляции	Величина испытательного напряжения, *в*	
	на виток однослойных и двухслойных замкнутых обмоток	межстолбиковой изоляции для замкнутых катушек
В пазовой и лобовой частях между столбиками две прокладки из микашелка толщиной 0,14—0,17 *мм* и между прокладками миканит или слюдинит толщиной 0,2—0,3 *мм*. Витковая изоляция:		
Обмоточный провод с собственной изоляцией	150, но не больше 3 000 для всей катушки	1 500
То же и дополнительная витковая изоляция	200, но не больше 3 000 для всей катушки	1 500
В пазовой части между столбиками две прокладки из миканита или слюдинита толщиной 0,2—0,3 *мм*. В лобовой части оба столбика изолированы микалентой, стеклоэкскапоновой лентой, слюдинитовой лентой или микашелком толщиной 0,13—0,17 *мм* в один слой вполнахлеста. Витковая изоляция:		
Обмоточный провод с собственной изоляцией	175, но не больше 4 000 для всей катушки	2 000
То же и дополнительная витковая изоляция	250, но не больше 4 000 для всей катушки	2 000
В пазовой и лобовой частях каждый столбик изолирован микалентой, микашелком или слюдинитовой лентой толщиной 0,13—0,17 *мм* в один слой вполнахлеста. Витковая изоляция:		
Обмоточный провод с собственной изоляцией	175, но не больше 4 000 для всей катушки	2 000
То же и дополнительная витковая изоляция	250, но не больше 4 000 для всей катушки	2 000

22,5 *кв* — для обмоток напряжением 6,3 *кв* при толщине гильзы 2,5—3,5 *мм*.

Витковая изоляция испытывается переменным током повышенной частоты (частота не нормируется). Величина испытательного напряжения зависит от вида изоляции.

В табл. 22 приведены эти величины испытательных напряжений для одностолбиковых, а в табл. 23 — для двухстолбиковых катушек.

РЕМОНТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТАРОГО ПРОВОДА

Возможность использования старого провода при ремонте катушек, имеющих в заводском исполнении гильзовую (смешанную) изоляцию, определяется после составления эскиза новой изоляции, составления расчета размеров катушки и заполнения паза.

Только в том случае, если размеры переизолированной катушки равны или мало отличаются от размеров в заводском исполнении, можно использовать при ремонте старый провод.

На рис. 31 даны эскизы заполнения паза обмотки электродвигателя мощностью 240 *квт* напряжением

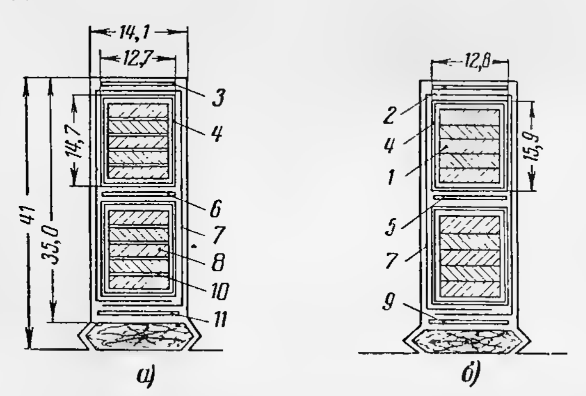


Рис. 31. Заполнение паза до и после ремонта.

1 — провод голый размером 1,68×7,4 *мм* (изолирован одним слоем микаленты толщиною 0,13 *мм*); *2*, *9* — электрокартон толщиною 0,5 *мм*; *3*, *11* — электрокартон толщиною 1 *мм*; *4* — гильза толщиною 2,45 *мм*; *5* — электрокартон толщиною 1,5 *мм*; *6* — электрокартон толщиною 2,5 *мм*; *7* — электрокартон толщиною 0,2 *мм*; *8* — провод ПСД с размерами $\frac{1,68\times7,4}{1,95\times7,67}$ *мм*; *10* — электрокартон толщиною 0,15 *мм*.

6,3 *кв* со скоростью вращения 735 *об/мин* фирмы «Сименс» как в заводском исполнении (*а*), так и при ремонте (*б*), из которых видно, что размер катушки по ширине до и после ремонта практически совпадает.

Незначительное увеличение высоты катушки компенсируется уменьшением толщины прокладок на дне паза, между сторонами катушек и под пазовым клином.

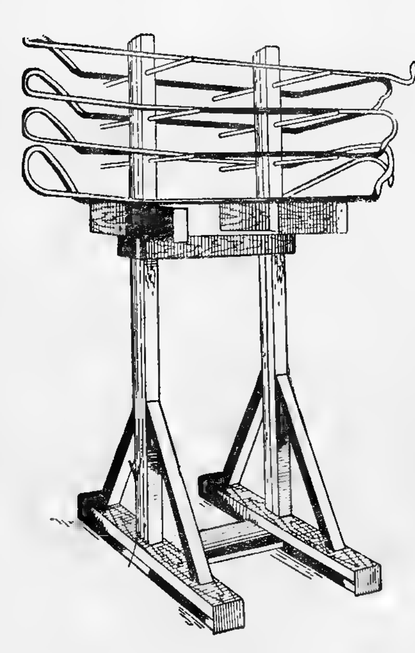


Рис. 32. Этажерка для ручной изоляции витков.

Перед выемкой катушек их следует разметить соответственно номерам пазов. Выводные концы катушек должны распаиваться, а не обрубаться или перекусываться кусачками. Таким образом, при укладке переизолированных катушек в те же пазы не встретится трудностей при соединении катушек как между собой, так и с шинами внутримашинных соединений.

Катушки должны извлекаться из пазов и очищаться от старой изоляции с осторожностью, чтобы не деформировалась сама катушка.

Снятие гильзовой изоляции и общей изоляции лобовых частей производится острым монтерским ножом.

Для облегчения снятия этой изоляции рекомендуется подогреть катушку до 70—80° С.

Для очистки от витковой и проводниковой изоляции катушки помещаются в бак с кипящей водой, выдерживаются в баке до полного размягчения изоляции, а затем вынимаются из бака и охлаждаются до температуры 40—50° С, после чего с помощью монтерских ножей с них снимается изоляция.

Если кипячение в воде окажется недостаточным, то катушки кипятятся в 10%-ном растворе каустической соды и выдерживаются в баке до разложения клеящего состава и распадения самой изоляции.

Вынутые из раствора катушки необходимо тщательно промыть теплой водой и удалить остатки старой изоляции. Работу следует производить обязательно в перчатках.

После снятия старой изоляции провод протирается сухими тряпками и проверяется на отсутствие забоин и трещин. Все обнаруженные дефекты должны быть устранены: забоины и заусенцы опилены, а трещины заварены серебряным припоем марки ПСР-45.

Для изолировки витки катушек растягиваются и помещаются на «этажерку» (рис. 32).

При переизолировке медь слегка промазывается лаком БТ-95.

Дальнейшие операции по изготовлению катушек: прессовка столбиков, накатка и выпечка гильз, изолировка уголков и т. п. — производятся в той же последовательности и по тому же технологическому режиму, как это описывалось выше для изготовления катушек из нового обмоточного провода.

3. РЕМОНТ ОБМОТОК С НЕПРЕРЫВНОЙ КОМПАУНДИРОВАННОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ

При изготовлении катушек с непрерывной изоляцией на специализированных заводах они проходят процесс компаундирования. Этот процесс заключается в том, что после наложения слоев микаленты катушки подвергаются сушке под вакуумом, при которой из изоляции удаляются воздух и летучие вещества, заключенные в лаке, на котором изготовлена микалента. После сушки в котел с загруженными в нем катушками подается под давлением компаундная масса, заполняющая все пустоты между слоями микаленты.

Катушки с указанной изоляцией не имеют недостатков, присущих катушкам с гильзовой изоляцией. В них отсутствует переход изоляции от прямолинейной к лобовой части, будучи разогретыми до 70—80° С они становятся достаточно эластичными и не повреждаются от

неизбежных деформаций, связанных с укладкой обмотки в пазы.

Однако изготовление катушек с непрерывной компаундированной изоляцией при ремонте электрических машин на местах их установки практически невозможно, так как для компаундирования требуется специальное оборудование.

При описанном ниже способе ремонта таких обмоток они не компаундируются; ремонт может рассматриваться как временный и применимый для электрических машин напряжением до 6,3 *кв*.

Рассмотрим следующие случаи ремонта: частичный (местный) ремонт общей корпусной изоляции, ремонт с заменой всей общей изоляции.

Частичный ремонт общей изоляции предусматривается при ее местных повреждениях, например при глубоких трещинах, механических повреждениях и электрическом пробое.

Естественно, что этот вид ремонта катушек применим только при полной сохранности проводниковой и витковой изоляции.

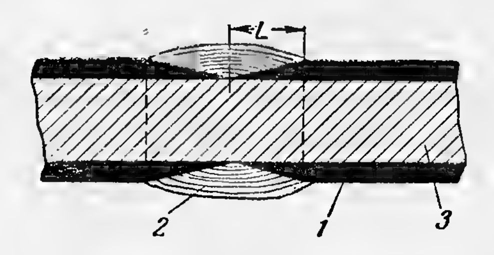


Рис. 33. Местный ремонт компаундированной изоляции.

1 — основная изоляция; *2* — новая изоляция; *3* — обмоточный провод.

Ремонт заключается в том, что вокруг поврежденного места изоляция срезается на конус и вновь изолируется уступами слоями микаленты и одним слоем хлопчатобумажной защитной лентой (рис. 33).

Размер $L \geqslant 10 + \frac{U_н}{200}$ *мм*, где $U_н$ — номинальное напряжение, *в*.

Наложение микаленты нужно производить, смазывая каждый ее слой клеящим масляно-битумным лаком БТ-95 с максимальной затяжкой микаленты, чтобы по возможности не создавать воздушные «мешки» в изоляции.

Ремонт с заменой всей общей изоляции, так же как и при частичном ремонте общей изоляции, предусматривается при сохранности проводниковой и витковой изоляции.

Поврежденную, подлежащую замене общую изоляцию надо снимать с осторожностью, чтобы не повредить проводниковую и витковую изоляцию и не деформировать всю катушку.

Для облегчения снятия изоляции рекомендуется подогреть катушку до температуры 70—80° С.

После удаления общей изоляции необходимо испытать катушки на отсутствие замыканий между витками и проводниками.

Величины испытательных напряжений приведены выше.

Обнаруженные замыкания устраняются путем расщепления столбика (катушки с удаленной общей изоляцией) и закладки слюдяных пластинок в месте замыканий. Когда по этой причине столбик приходится расщеплять во многих местах и вследствие этого нарушается его монолитность, необходимо столбик опрессовать. Расщепленные места столбика промазываются лаком БТ-95, неизолированная катушка по всему контуру обматывается хлопчатобумажной лентой и закладывается в прессформу. Столбик опрессовывается при температуре 110—120° С и в опрессованном состоянии выдерживается в течение 1—2 *ч*.

Новую общую изоляцию можно выполнить двумя способами: либо накаткой и запечкой микафолиевой гильзы на пазовую часть и наложением микалентной и лакотканевой изоляций на лобовую часть, либо изолировкой катушки по всему контуру только микалентой.

Первый способ изолировки применим при условии, когда длина вылетов гильзы не меньше:

20 *мм*	для обмоток электрических машин до	550 *в*
40 *мм*	„ „ „ „ „	3 150 *в*
65 *мм*	„ „ „ „ „	6 300 *в*

Следует учитывать, что у подавляющего большинства компаундированных обмоток вылеты значительно меньше указанных. Это и ограничивает возможность ремонта таких обмоток путем замены компаундированной изоляции на гильзовую.

В тех же немногих случаях, когда длина вылетов достаточна, операции ремонта выполняются по описанной выше технологии.

Второй способ ремонта — переизолировка катушек по всему контуру микалентой, промазываемой при ее наложении клеящим лаком БТ-95, — отличается от заводской технологии тем, что не производится основная операция, обеспечивающая монолитность изоляции — ее компаундирование.

Это в значительной степени снижает эксплуатационную надежность отремонтированных электрических машин; ремонт может считаться только временным и применимым, как указывалось выше, для обмоток напряжением до 6 300 *в*.

После очистки катушек от старой корпусной изоляции, проверки витковой и проводниковой изоляции на отсутствие замыканий, исправления этой изоляции и опрессовки столбиков производится осмотр, а при надобности выправка и переизолировка выводных концов, а также подвязка их к лобовой части катушек. На рис. 34 и в нижеприведенной таблице указаны требуемые изоляционные расстояния и минимальное число слоев изоляции выводных концов катушек в зависимости от номинального напряжения.

Номинальное напряжение, *в*	Минимальный размер *А*, *мм*	Минимальное число слоев микаленты
550	10	2
3 150	10	3
6 300	15	5

Последующей и очень ответственной операцией, определяющей качество ремонта, является наложение микаленты по всему контуру катушки. Так же как и при предыдущей операции необходимо добиваться абсолютного плотного наложения микаленты, производя затяж-

ку каждого оборота на прямых участках — рукой, а на углах — с помощью киперной ленты. Изоляция должна накладываться строго вполнахлеста.

Толщина изоляции приведена в табл. 24.

Таблица 24

Номинальное напряжение, *в*	Односторонняя толщина изоляции, *мм*	
	Пазовая часть	Лобовая часть
550	1,1 (1,6)	1,25 (1,3)
3 150	1,75 (2,0)	1,5 (1,6)
6 300	2,7 (3,2)	2,5 (2,8)

Примечание. В скобках указаны данные для обмоток крупных и ответственных электрических машин.

Изолированная микалентой катушка стягивается временной хлопчатобумажной лентой и сушится в печи в течение 5—7 *ч* при температуре 100° С, а затем опрессовывается в горячей прессформе в течение 1—2 *ч* при температуре 100—120° С.

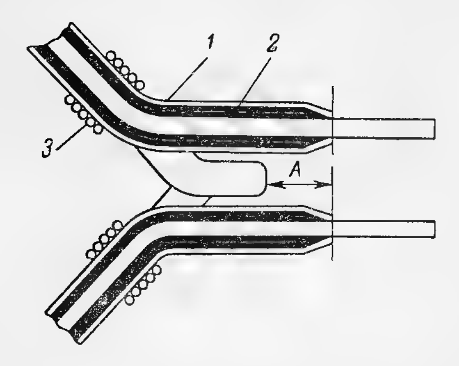


Рис. 34. Изоляция выводных концов.
1 — хлопчатобумажная или стеклянная лента; *2* — микалента; *3* — шпагатный бандаж.

После охлаждения катушка вынимается из прессформы, зачищается от потеков лака и покрывается защитным слоем стеклянной, асбестовой или хлопчатобумажной ленты, пропитанной лаком 458.

Вслед за тем катушка покрывается лаком типа БТ-99 (б. 462п) и сушится на воздухе до прекращения отлипа.

4. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПЛЕТЕНЫХ СТЕРЖНЕЙ НА МЕСТЕ РЕМОНТА

Стержни большого сечения обмоток статоров, в целях уменьшения дополнительных потерь в меди, подразделяются на отдельные параллельные проводники малого сечения, переплетенные между собой (транспонированные стержни).

Разбивка стержня на ряд параллельных проводников уменьшает потери от вихревых токов, а переплетение — исключает появление уравнительных токов между параллельными проводниками, так как при переплетении (транспозиции) каждый из параллельных проводников занимает равные участки по длине активной стали статора, во всех положениях по высоте расположения их в пазу.

Отношение суммарных потерь в меди к основным потерям определяются коэффициентом вытеснения тока (коэффициентом Фильда).

При двух стержнях в пазу средний коэффициент Фильда составляет

$$K_{\Phi} = 1 + 0{,}107\left(\frac{mb}{b_{\text{п}}}\right)^2 (2n)^2 a^4 \cdot 10^{-4},$$

где a — высота элементарного проводника, *мм*;

b — ширина элементарного проводника, *мм*;

$b_{\text{п}}$ — ширина паза, *мм*;

m — число элементарных проводников по ширине стержня;

n — число элементарных проводников в каждом столбике (число элементарных проводников в стержне равно $2n$).

Число и высота элементарных проводников определяются таким образом, чтобы суммарные — основные и дополнительные — потери в меди были бы минимальными.

Существует несколько способов транспозиции стержней.

Некоторые из них связаны с необходимостью производить вырезы до 50% сечения проводников в местах переплетения, что вызывает на этих участках увеличение плотности тока в 2 раза. Для предотвращения мест-

ных перегревов приходится снижать общую плотность тока.

На рис. 35 приведена конструкция плетеного стержня и элементарного проводника такого стержня (стержень «Пунга»).

Технологический процесс изготовления этих стержней во внезаводских условиях очень сложен.

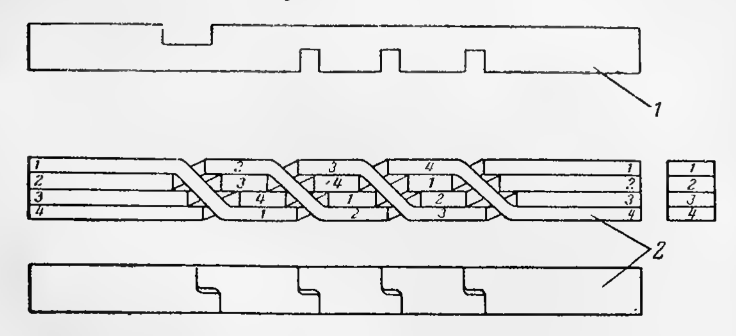


Рис. 35. Транспозиция с вырезом элементарных проводников.
1 — элементарный проводник; *2* — сплетенный стержень.

В настоящее время общепринятой, применяемой нашими отечественными заводами является конструкция стержня, изображенная на рис. 36.

Стержень состоит из двух рядов элементарных проводников (двух столбиков). В пределах длины паза проводники переходят из одной половины стержня в другую, образуя как бы сплющенную многоходовую спираль.

Элементарные проводники этих стержней не имеют вырезов, и, таким образом, несмотря на несколько меньший коэффициент заполнения паза, чем у стержней конструкции «Пунга», они являются эффективнее последних.

Низкий коэффициент заполнения паза определяется как необходимостью установки вертикальной прокладки (перегородки) между столбиками, так и увеличением высоты столбика на один проводник (по отношению к сумме высот всех проводников столбика), в месте перехода проводника из одной половины стержня в другую.

Ниже приводится расчет размеров стержня и каждого элементарного проводника, а также технологический процесс его изготовления.

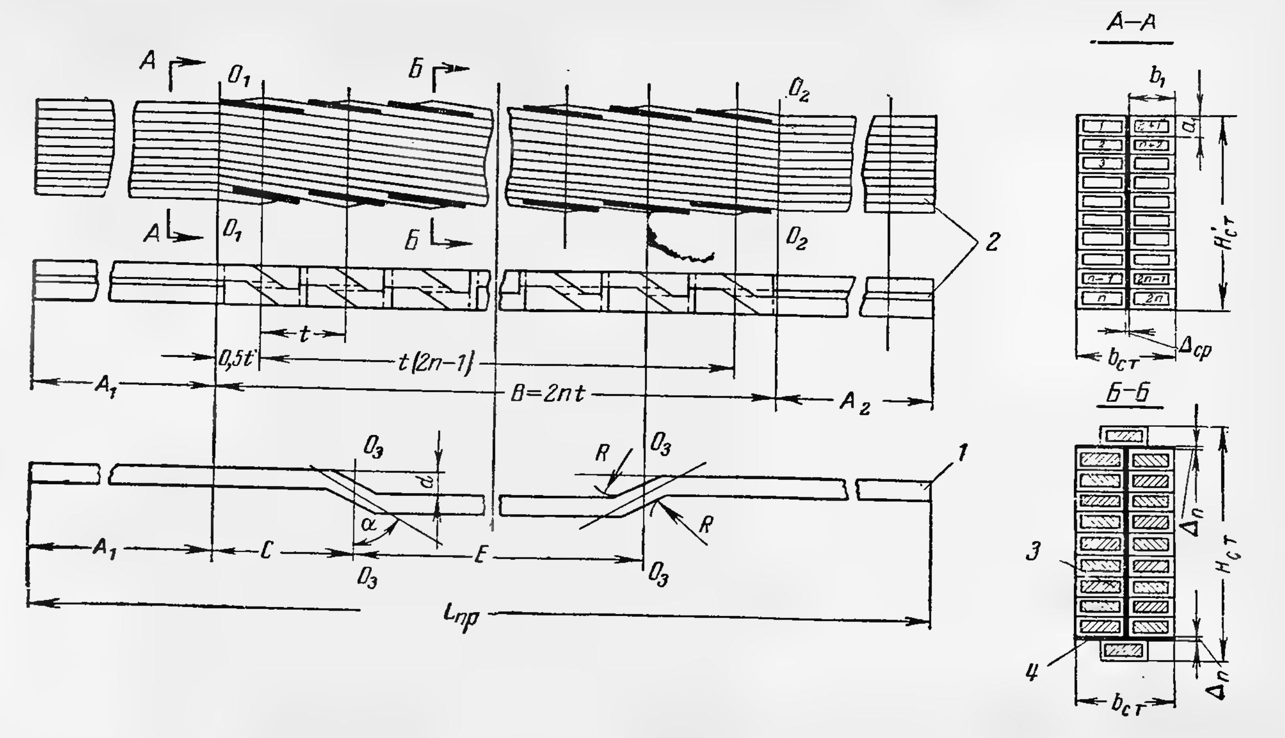


Рис. 36. Транспозиция с изгибом элементарных проводников.

1 — элементарный проводник; 2 — сплетенный стержень; 3 — прокладка между столбиками; 4 — прокладка на переходе.

Исходные данные

a_1 и b_1 — размеры поперечного сечения изолированного элементарного проводника, *мм*;

$\Delta_{ср}$ — толщина миканитовой прокладки между столбиками, равная 0,3—0,5 *мм*;

$\Delta_п$ — толщина миканитовой прокладки на переходах, равная 0,2 *мм*;

$B_{ст}=2b_1+\Delta_{ср}$ — ширина стержня в пазовой части, *мм*;

$H'_{ст}=a_1 n$ — высота стержня, вне транспонированной части, *мм*;

Таблица 25

№ элементарных проводников	C
1 и $n+1$	$0{,}5\,t$
2 и $n+2$	$1{,}5\,t$
3 и $n+3$	$2{,}5\,t$
и т. д.	и т. д.
$n-2$ и $2n-2$	$0{,}5\,B-2{,}5\,t$
$n-1$ и $2n-1$	$0{,}5\,B-1{,}5\,t$
n и $2n$	$0{,}5\,B-0{,}5\,t$

$H_{ст}=a_1(n+1)+2\Delta_п$ — высота стержня в пазовой части, *мм*;

$t=L_{ст}/2n$ — шаг плетения. Берется не меньше 30—35 *мм* (округляется до целого числа), где $L_{ст}$ — длина стали статора вместе с каналами, *мм*;

α — угол изгиба элементарного проводника. Обычно принимается равным 30°. При малых значениях шага плетения может быть увеличен до 45°;

R — радиус закругления мест изгиба элементарных проводников. Во избежание чрезмерного утолщения мест изгиба, разрушения проводниковой изоляции и продавливания прокладок на переходах не рекомендуется принимать R меньше 10 *мм*;

$B=2nt$ — полная длина плетения;

$E=0{,}5\,B$ — длина изогнутой части каждого элементарного проводника между линиями O_3—O_3, проходящими через середины наклонных частей проводника, *мм*;

$d=b_1+\Delta_{ср}$ — глубина изгиба элементарного проводника, *мм*;

A_1 и A_2 — длины нетранспонированных частей стержней с каждой стороны статора, *мм*. При приставных лобовых дугах A_1 и A_2 равны вылетам стержней от торца активной стали. В случае если лобовые дуги составляют одно целое с пазовой частью стержня, размеры A_1 и A_2 определяются длиной лобовых дуг;

C — переменная величина, зависящая от положения проводника в стержне (от порядкового номера проводника, считая с 1 по $2n$), вычисляется по табл. 25.

$L_{пр}=A_1+A_2+B$ — расчетная (без припуска на подгонку) длина стержня и элементарного проводника, *мм*.

ПРОЦЕСС ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТЕРЖНЯ

1. Нарезаются элементарные проводники длиной $L_{пр}$ (рис. 37,*а*).

2. Проводники комплектуются в «столбики» по n штук в каждом (рис. 37,*б*). Концы смежных проводников в каждом столбике сдвигаются при этом на один шаг друг относительно друга при помощи гребенки (рис. 38) и закрепляются в таком положении зажимами (рис. 39).

3. Все элементарные проводники одного столбика (рис. 37,*в*) изгибаются при помощи приспособления (рис. 40), состоящего из двух частей — левой и правой, — закрепляемых на столе на расстоянии друг от друга, соответствующему размеру E столбика.

В приспособлении столбик укладывается в горизонтальном положении на оба основания *1* между щеками *6*. Клинья *3* и рычаги *5* при этом снимаются. Один конец столбика *7* упирают в неподвижный упор *2* и заклинивают оба конца столбика клиньями *3*. В прорези щек *6* заводятся оси *4* рычагов *5*, которые занимают вертикальное положение. Поворотом рычагов в направлениях, указанных стрелками, изгибают столбик.

4. Все проводники столбика сдвигаются, концы проводников выравниваются (рис. 37,*г*).

5. Проводники переплетаются, начиная с середины, на обоих концах столбика. Для этого следует перекладывать последовательно по одному проводнику в том порядке, как это указано на рис. 37,*д*.

При плетении левого конца на месте оставляется последний проводник, а остальные перекладываются. При плетении правого конца на месте оставляется первый проводник и перекладывание проводников ведется в последовательности обратной номерам проводников.

6. Столбики комплектуются попарно в стержни (рис. 37,*е*), и между столбиками устанавливается вертикальная миканитовая прокладка. Для этого столбик *1*

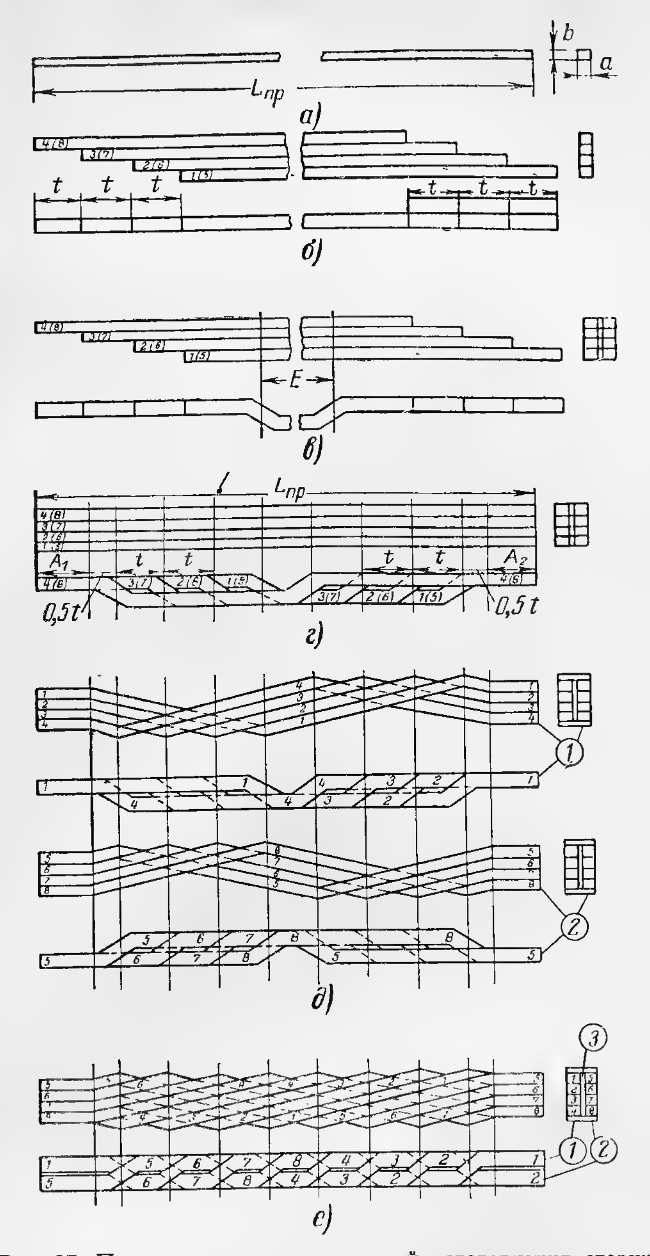


Рис. 37. Последовательность операций изготовления стержня.

а — элементарный проводник — заготовка; *б* — элементарные проводники скомплектованы в столбик; *в* — столбик изогнут; *г* — столбик подготовлен к плетению; *д* — проводники сплетены; *е* — из столбиков *1* и *2* скомплектован стержень *3*.

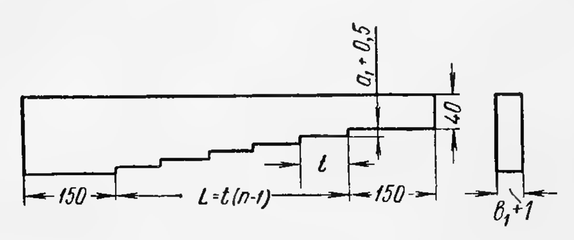


Рис. 38. Гребенка для комплектовки проводников стержня.

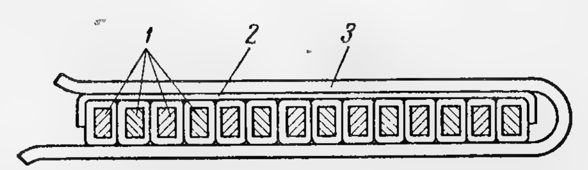


Рис. 39. Зажим для комплектовки столбика.
1 — элементарные проводники; *2* — скоба; *3* — вилки.

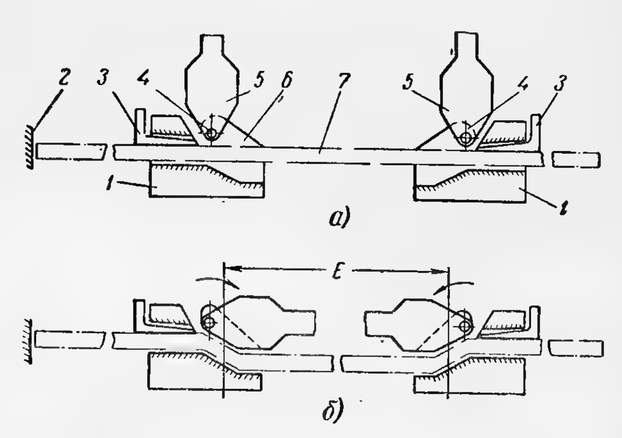


Рис. 40. Приспособление для изгиба столбика.
а — до изгиба столбика; *б* — после изгиба столбика.

нужно положить на стол широкой стороной и установить на нем прокладку. Затем приподнять столбик *2* над столбиком *1* и повернуть его относительно столбика *1* на 30°. Опустить столбик *2* так, чтобы совместить середины обоих столбиков. Повернуть концы стержня *2*, чтобы концы его совпали с концами столбика *1* и прокладка оказалась между столбиками, а переходы проводников в обоих столбиках приходились друг над другом.

7. На переходах устанавливаются миканитовые прокладки *4* (рис. 36). Для этого на каждом переходе поочередно слегка приподнимается элементарный проводник и под него подсовывается прокладка.

8. Выравнивается нижняя и верхняя поверхности стержня. Для этого углубления, образующиеся около мест перехода из одного столбика в другой, заполняют электроизоляционной замазкой, состоящей из смеси одной весовой части эмали ГФ-92-ХС (СВД) с двумя весовыми частями талька.

9. Стягивается стержень по всей длине киперной лентой вразбежку. Концы стержня разводятся, и испы-

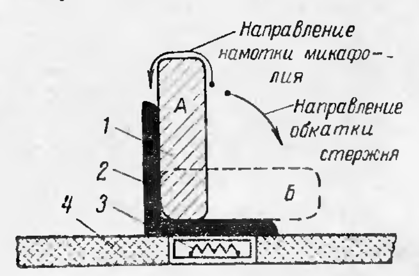


Рис. 41. Приспособление для обкатки стержня.

1 — стержень; *2* — угольник; *3* — нагреватель; *4* — стол.

тывается изоляция между элементарными проводниками напряжением 220 *в*. При наличи замыкания между проводниками в это место закладывается прокладка из миканита.

10. Стержни промазываются шеллачным лаком, прессуются и выпекаются в горячих прессформах.

После выпечки повторно проверяется межпроводниковая изоляция.

Процесс огильзовки стержней принципиально одинаков ранее описанному процессу огильзовки катушек. Для большой плотности гильзы производят обкатку наложенного микафолия, пользуясь несложным приспособлением (рис. 41).

После наложения каждого слоя микафолия рабочие (обязательно в рукавицах), расставленные по длине стержня через каждые 600—700 *мм* вращают его, переводя из положения *А* в положение *Б*.

При поворачивании стержень плотно прижимают к стенкам угольника, непрерывно подогреваемого до 80—90° С, и тем самым уплотняют наложенный микафолий.

При большом количестве изготовляемых стержней для обкатки микафолия применяются специальные обкаточные станки.

Испытание общей изоляции стержней производится напряжением:

6 500 *в*	— при рабочем напряжении обмотки до	550 *в*
12 500 *в*	„ „ „ „ „	3 150 *в*
21 500 *в*	„ „ „ „ „	6 300 *в*
33 500 *в*	„ „ „ „ „	10 500 *в*

ЛИТЕРАТУРА

Бабенко Д. А. и др., В помощь электрику-обмотчику трехфазных асинхронных электродвигателей, Госэнергоиздат, 1962.

Виноградов Н. В., Производство электрических машин, Госэнергоиздат, 1961.

Виноградов Н. В., Электрослесарь по ремонту электрических машин, Профтехиздат, 1963.

Дренов П. В., Справочник по ремонту электрических машин, изд-во «Техника», 1964.

Зимин В. И. и др., Обмотки электрических машин, Госэнергоиздат, 1961.

Каганов Л. М., Технология всыпных обмоток, Профтехиздат, 1962.

Каганов Л. М., Технология жестких статорных обмоток, изд-во «Энергия», 1965.

Калитвянский В. И., Изоляция электрических машин, Госэнергоиздат, 1949.

Кокарев А. С. и др., Справочник молодого обмотчика электрических машин, изд-во «Высшая школа», 1964.

Маршак Е. Л. и др., О транспозиции обмоток статоров турбогенераторов при ремонте, «Электротехническая промышленность», 1962, № 7.

Никулин Н. В., Справочник молодого электрика по электротехническим материалам и изделиям, Профтехиздат, 1962.

Рубо Л. Г., Пересчет и ремонт асинхронных двигателей мощностью до 100 *квт*, Госэнергоиздат, 1961.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Цена 24 коп.